पढ़ें और सीखें योजना

तत्व-नए पुराने

रामचरण मेहरोत्रा
रमा शंकर राय

विभागीय सहयोग
राम दुलार शुक्ल

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्
NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING

जून 1989
आषाढ़ 1911
P.D. IOT — AKS

प्रकाशन सहयोग

सी०एन० राव: **अध्यक्ष, प्रकाशन विभाग**

प्रभाकर द्विवेदी: **मुख्य सम्पादक**
आशीष सिन्हा: **संपादक**
यू० प्रभाकर राव: **मुख्य उत्पादन अधिकारी**
डा० साई प्रसाद: **उत्पादन अधिकारी**
प्रमोद रावत: **उत्पादन सहायक**
चंद्र प्रकाश टंडन: **कला अधिकारी**

मूल्य : रु 8.00

प्रकाशन विभाग में सचिव, राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्, श्री अरविन्द मार्ग, नई दिल्ली-110 006 द्वारा प्रकाशित तथा एडप्रिंट सर्विसज, नई दिल्ली में कम्पोज होकर मैसर्स सरस्वती ऑफसेट प्रिंटर्स ए-5, नारायणा इंण्डस्ट्रियल एरिया फेस-2, नई दिल्ली-110 028 द्वारा मुद्रित।

प्राक्कथन

विद्यालय शिक्षा के सभी स्तरों के लिए अच्छे शिक्षाप्रद पाठ्यक्रमों और पाठ्यपुस्तकों के निमार्ण की दिशा में हमारी परिषद् पिछले चौबीस वर्षों से कार्य कर रही है। हमारे कार्य का प्रभाव भारत के सभी राज्यों और संघशासित प्रदेशों में प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से पड़ा है और इस पर परिषद् के कार्यकर्ता संतोष का अनुभव कर सकते हैं।

किन्तु हमने देखा है कि अच्छे पाठ्यक्रम और अच्छी पाठ्यपुस्तकों के बावजूद भी हमारे विद्यार्थियों की रुचि स्वतः पढ़ने की ओर अधिक नहीं बढ़ती है। इसका एक मुख्य कारण अवश्य ही हमारी दूषित परीक्षा-प्रणाली है जिसमें पाठ्य-पुस्तकों में दिए गए ज्ञान की ही परीक्षा ली जाती है। इस कारण बहुत ही कम विद्यार्थियों में कोर्स के बाहर की पुस्तकों को पढ़ने के लिए प्रोत्साहन दिया जाता है। लेकिन अतिरिक्त पठन में बच्चों की रुचि न होने का एक बड़ा कारण यह भी है कि विभिन्न आयुवर्ग के बालकों के लिए कम मूल्य की अच्छी पुस्तकें पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध भी नहीं हैं। यद्यपि पिछले कुछ वर्षों में इस कमी को पूरा करने के लिए कुछ काम प्रारंभ हुआ है पर वह बहुत ही नाकाफी है।

इस दृष्टि से परिषद् ने बच्चों की पुस्तकों के रूप में लेखन की दिशा में महत्वाकांक्षी योजना प्रारंभ की है। इसके अंतर्गत, ''पढ़ें और सीखें'' शीर्षक से एक पुस्तकमाला तैयार करने का विचार है जिसमें विभिन्न आयुवर्ग के बच्चों के लिए सरल भाषा और रोचक शैली में अनेक विषयों पर बड़ी संख्या में पुस्तकें तैयार की जाएंगी। हम आशा करते हैं कि 198° के अंत तक हिन्दी में हम निम्नलिखित विषयों पर 50 पुस्तकें प्रकाशित कर सकेंगे।

क. शिशुओं के लिए पुस्तकें
ख. कथा साहित्य
ग. जीवनियाँ
घ. देश-विदेश परिचय

ङ. सांस्कृतिक विषय
च. वैज्ञानिक विषय
छ. सामाजिक विज्ञान के विषय

इन पुस्तकों के निमार्ण में हम प्रसिद्ध लेखकों, अनुभवी अध्यापकों और योग्य कलाकारों का सहयोग ले रहे हैं। प्रत्येक पुस्तक के प्रारुप पर भाषा, शैली, और विषय-विवेचन की दृष्टि से सामूहिक विचार करके उसे अंतिम रूप दिया जाता है।

परिषद् इस माला की पुस्तकों को लागत -मूल्य पर ही प्रकाशित कर रही है ताकि ये देश के हर कोने में पहुंच सकें। भविष्य में इन पुस्तकों को अन्य भारतीय भाषाओं में अनुवाद कराने की भी योजना है।

हम आशा करते हैं कि शिक्षाक्रम, पाठ्यक्रम और पाठ्यपुस्तकों के क्षेत्र में किए गए कार्य की भांति ही परिषद् की इस योजना का भी व्यापक स्वागत होगा।

प्रस्तुत पुस्तक ''तत्व-नए पुराने'' के लेखन के लिए श्री रामचरण मेहरोत्रा और श्री आर.एस. राय ने हमारा निमंत्रण स्वीकार किया जिसके लिए हम उनके अत्यंत आभारी हैं। जिन-जिन विद्वानों, अध्यापकों और कलाकारों से इस पुस्तक को अंतिम रूप देने में हमें सहयोग मिला है उनके प्रति मैं कृतज्ञता ज्ञापित करता हूँ।

हिन्दी में ''पढ़ें और सीखें'' पुस्तकमाला की यह योजना प्रो० अनिल विद्यालंकार के मार्गदर्शन में चल रही है। उनके सहयोगियों में श्रीमती संयुक्ता लूदरा, डा० रामजन्म शर्मा, डा० सुरेश पांडेय, डा० हीरालाल बाछोतिया और डा० अनिरुद्ध राय सक्रिय सहयोग दे रहे हैं। विज्ञान की पुस्तकों के लेखन का मार्गदर्शन राजस्थान विश्वविद्यालय के भूतपूर्व कुलपति प्रो० रामचरण मेहरोत्रा कर रहे हैं और इन पुस्तकों के लेखन में हमारे विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो० राम दुलार शुक्ल सहयोग दे रहे हैं। योजना के संचालन में डा० बाछोतिया विशेष रूप से सक्रिय रहे हैं। मैं डा० रामचरण मेहरोत्रा को और अपने सभी सहयोगियों को हार्दिक धन्यवाद और बधाई देता हूँ।

इस माला की पुस्तकों पर बच्चों, अध्यापकों और बच्चों के माता-पिता की प्रतिक्रिया का हम स्वागत करेंगे ताकि इन पुस्तकों को और भी उपयोगी बनाने में हमें सहयोग मिल सके।

पी० एल० मल्होत्रा
निदेशक

नई दिल्ली राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्

दो शब्द

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद् (एन०सी०ई०आर०टी०) की "पढ़ें और सीखें" योजना के अंतर्गत यह एक छोटा सा प्रयास है। जब परिषद् के प्रगतिशील निदेशक डा० पी०एल० मल्होत्रा ने मुझे इस दिशा में "विज्ञान" के विषयों का कार्यभार संभालने के लिए आमंत्रित किया तो अपने वैज्ञानिक मित्रों की अतिव्यस्तता के कारण यह उत्तरदायित्व स्वीकार करने में मुझे संकोच था।

इस दिशा में मेरा प्रयास रहा है कि विज्ञान के विभिन्न विषयों के जाने-माने विद्वानों को इस सराहनीय कार्य के लिए आकर्षित कर सकूँ क्योंकि खोज और अनुसंधान की आनंदपूर्ण अनुभूतियों वाले वैज्ञानिक ही अपने आनंद की एक झलक बच्चों तक पहुंचा सकते हैं। मैं उनका हृदय से आभारी हूँ कि उन्होंने अंकुरित होने वाली पीढ़ी के लिए अपने बहुमूल्य समय में से कुछ क्षण निकालने का प्रयास किया। कहते तो हम सब है कि "बालक" राष्ट्र की सब से बहुमूल्य और महत्वपूर्ण निधि है परंतु मेरे लिए यह किंचित आश्चर्य और अधिक संतोष का अनुभव रहा है कि हमारे इतने लब्धप्रतिष्ठ और अत्यंत व्यस्त वैज्ञानिक "बच्चों" के लिए ऐसा परिश्रम करने के लिए सहर्ष मान गए हैं। मैं सभी वैज्ञानिक मित्रों के लिए हृदय से आभारी हूँ।

इन पुस्तकों की तैयारी में हमारा मुख्य ध्येय रहा है कि विषय ऐसी शैली में प्रस्तुत किया जाए कि बच्चे स्वयं इसकी ओर आकर्षित हों, साथ ही भाषा इतनी सरल हो कि बच्चों को इनके अध्ययन द्वारा विज्ञान के गूढ़तम रहस्यों को समझने में कोई कठिनाई न हो। इन पुस्तकों के पढ़ने से उनमें अधिक पढ़ने की रुचि पैदा हो, उनके नैसर्गिक कौतूहल में वृद्धि हो जिससे ऐसे कौतूहल और उसके समाधान के लिए स्वप्रयत्न उनके जीवन का एक अंग बन जाए।

यह योजना एन०सी०ई०आर०टी० के वर्तमान निदेशक डा० पी०एल० मल्होत्रा की प्रेरणा से प्रारंभ हुई है। मैं उन्हें इसके लिए बधाई और धन्यवाद देता हूँ।

प्रो० रमाशंकर राय ने इस पुस्तक के लिखने में मेरा साथ दिया जिसके लिए मैं हृदय से आभारी हूँ। परिषद् के विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो० रामदुलार शुक्ल विज्ञान की पुस्तकों के लेखन से संबंधित योजना के संयोजक हैं और बहुत परिश्रम और कुशलता से अपना कार्य कर रहे हैं। प्रो० अनिल विद्यालंकार ''पढ़ें और सीखें'' संपूर्ण योजना के संचालक हैं। मैं इन दोनों को हृदय से धन्यवाद देता हूँ।

आशा है कि ऐसी पुस्तकों से हमारी नई पीढ़ी के बाल्यकाल ही में वैज्ञानिक मानसिकता का शुभारंभ हो सकेगा और विज्ञान के नवीनतम ज्ञान के साथ ही साथ उन्हें अपने देश की प्रगतियों एवं वैज्ञानिकों के कार्य की झलक मिल सकेगी जिससे उनमें अपने राष्ट्र के प्रति गौरव की भावना का भी सृजन होगा।

रामचरण मेहरोत्रा
अध्यक्ष
''पढ़ें और सीखें योजना''
(विज्ञान)

लेखक परिचय

रामचरण मेहरोत्रा

देश के अग्रणी वैज्ञानिकों में से एक। अन्तर्राष्ट्रीय ख्यातिप्राप्त रसायनज्ञ। भटनागर पुरस्कार तथा फिक्की एवार्ड से विभूषित। 40-50 वर्षों से विज्ञान को सामान्यजनों तक सहज-सरल भाषा में पहुंचाने में संलग्न। वैज्ञानिक और औद्योगिक अनुसंधान परिषद् द्वारा प्रकाशित "विज्ञान प्रगति" के उत्थान में अत्यंत महत्वपूर्ण योगदान। इन सेवाओं के लिए उत्तर प्रदेश की हिन्दी समिति द्वारा 1985 में सर्वोच्च विज्ञान लेखन पुरस्कार से सम्मानित। सन् 1989 में केन्द्रीय हिन्दी संस्थान द्वारा आत्माराम पुरस्कार से विभूषित। राजस्थान ग्रन्थ अकादमी के संस्थापकों में से एक। लगभग 15 वर्षों से अकादमी के माध्यम से "रसायन समीक्षा" का सम्पादन।

रमाशंकर राय

भौतिक तथा नाभिकीय रसायन विज्ञान के जाने माने विद्वान। बिड़ला इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नॉलोजी एण्ड साइंस के रसायन विभाग के भूतपूर्व अध्यक्ष। आज भी वहीं पठन पाठन और अनुसंधान कार्य में संलग्न। अमरीका के प्रसिद्ध विश्वविद्यालयों में नाभिकीय रसायन पर अनुसंधान कार्य। विज्ञान के जटिलतम तथ्यों को सरल भाषा में समझाने की अनूठी क्षमता।

विषय क्रम

1

तत्वों की खोज

पंच तत्व

संसार में अपने चारों ओर विभिन्न प्रकार के पदार्थ और सृष्टि के अनेकानेक रूपान्तर देखने पर मानव को आदिकाल से ही यह स्वाभाविक कौतूहल रहा है कि क्या समस्त पदार्थों की रचना बिल्कुल पृथक-पृथक है अथवा ये सब भिन्न-भिन्न रूप में दिखलाई देने वाले पदार्थ कुछ आधारभूत सरलतम पदार्थों के ही अलग-अलग संजोए हुए रूप हैं? घड़ा मिट्टी से बनता है, तरह-तरह के आभूषण सोने से बनाए जा सकते हैं, पानी ठंडे मौसम में जम कर बर्फ का रूप ले लेता है और गरमी से भाप बन कर उड़ जाता है। ऐसे ही अनुभवों से क्रमशः मानव को यह आभास हुआ होगा कि आकार तथा बाह्य रूप भिन्न-भिन्न होने पर भी प्रायः संसार की असंख्य वस्तुएं कुछ सरलतम पदार्थों या तत्वों की बनी होती हैं।

यह जगत, इसके पर्वत, समुद्र, पृथ्वी, वृक्ष, पशु आदि करोड़ों चीजें किस तत्व या किन तत्वों की बनी हैं? इसी प्रकार के प्रश्नों के साथ मनुष्य की दार्शनिक जिज्ञासा प्रारम्भ हुई। उपनिषद् काल के ऋषियों में से कुछ (जैसे

ऐत्रेय) ने अनुमान लगाया था कि सब पदार्थ 'मिट्टी' या पृथ्वी से आरम्भ होते हैं। अन्य ऋषियों का मत था कि पृथ्वी भी जल से पैदा होती है, जल आग से, आग हवा से और इसी प्रकार की अनेक कल्पनाओं का उल्लेख किया जा सकता है। परन्तु इस समय यही कहना पर्याप्त होगा कि हमारे पूर्वजों में से अधिकांश को 'पंचतत्व' या 'पांचभूत': वायु, अग्नि, जल, पृथ्वी तथा आकाश ही मान्य थे। उनका मत था कि संसार की समस्त वस्तुएं इन्हीं पांच तत्वों से मिलकर बनी हैं। आगे चल कर भारतीय भौतिकवादियों ने आकाश को तत्वों की तालिका से निकाल दिया।

भारतीय सभ्यता के उत्थान के साथ ही साथ यूनान में दार्शनिकों ने इसी प्रकार की कल्पनाए कीं। थेल (Thales) ने जल को सृष्टि का मूल आधार माना; उसके शिष्य अनक्सिमन (Anaximenes) ने वायु को और हेराक्लितु (Heraclitus) ने अग्नि को प्रथम स्थान दिया।

आज अपने बढ़ते हुए नवीन ज्ञान के आवेश में हम प्रायः अपने पूर्वजों के विचारों और उनकी मान्यताओं का उचित आदर नहीं करते। सच तो यह है कि प्रायः किसी भी वैज्ञानिक प्रगति की दिशा में प्रथम मौलिक विचार ही आधार होते हैं और वही साधारणतया बाद में काम करने वाले वैज्ञानिकों का मार्ग प्रशस्त करते रहते हैं। हमें प्रत्येक स्थान या काल के कार्य का मूल्यांकन करने में उसी काल की साधारण अवस्थाओं तथा परिस्थितियों का ध्यान अवश्य रखना चाहिए। इसी दृष्टिकोण से आज से सहस्त्रों वर्ष पहले की गई पदार्थ की रचना के बारे में कुछ आधारभूत तत्वों की कल्पना अत्यन्त महत्वपूर्ण थी और समकालीन ज्ञान का ध्यान रखते हुए इसे बहुत ही मौलिक माना जा सकता है।

तत्व की वैज्ञानिक परिभाषा

सच तो यह है कि लगभग ढाई हजार वर्ष (ईसा पूर्व सातवीं आठवीं

शताब्दी से ईसा की सत्रहवीं शताब्दी) तक चार या पांच तत्वों (या महाभूतों) का ही बोलबाला था। 'सांख्य दर्शन' में यह मत दिया गया है कि 'प्रकृति' ही इन पंचतत्वों की जननी है, परन्तु यह केवल एक रहस्यमय विचार ही रहा। मध्यकाल में हमारे देश की भांति ही यूरोप में भी 'कीमिया गिरी' (Alchemy) यानी सस्ती धातुओं से सोना बनाने के प्रयत्नों की धूम थी। वस्तुतः आधुनिक रसायन शास्त्र का आरम्भ ही कीमियागारों (Alchemists) के प्रयत्नों के फलस्वरूप हुआ। सन् 1662 में राबर्ट बॉयल (Robert Boyle) ने 'सन्देहवादी रसायन' (Sceptic chemistry) नामक पुस्तक लिखकर दीर्घकाल से प्रचलित 'महाभूतों या पंचतत्वों' के मूल तत्व होने में सन्देह प्रकट किया। उनका यह विचार था कि सच्चे मूल तत्व तो और ही हैं जिनके मिश्रण से ये महाभूत 'पृथ्वी, जल, वायु, तथा अग्नि' बने हुए हैं। बॉयल के इन विचारों का स्पष्टीकरण लगभग एक शताब्दी बाद सन् 1789 में प्रसिद्ध फ्रांसीसी वैज्ञानिक लेव्वासिए (Lavoisier) ने किया और पहली बार 'तत्व' की ऐसी परिभाषा दी जिसे वैज्ञानिक परिभाषा कहा जा सकता है। इसके अनुसार '**तत्व वह पदार्थ है जो किसी भी ज्ञात विधि से अपने से सरलतम पदार्थों में विभाजित या विघटित नहीं किया जा सकता।**'

बीसवीं शताब्दी के आरम्भ तक तत्व की इसी परिभाषा को पूर्ण मान्यता मिलती रही। परन्तु यह तो स्पष्ट ही है कि यह परिभाषा नकारात्मक और असफल प्रयोगों की द्योतक थी। उदाहरण के लिए कास्टिक सोडा या पोटाश उन्नीसवीं शताब्दी के आरम्भ तक तत्व माने गए क्योंकि इतने काल तक कोई भी रसायनज्ञ इनको अधिक सरल पदार्थों में विघटित करने में असफल रहा। सन् 1807 में हम्फ्रे डैवी (Humphray Davy) को विद्युतधारा की सहायता से कास्टिक पोटाश को विघटित करने में सफलता मिली, तबसे यह सिद्ध हुआ कि कास्टिक पोटाश तत्व न होकर

अन्य सरल तत्वों से मिलकर बना एक रासायनिक यौगिक (Chemical compound) है।

तत्वों के बारे में लेव्वासिए की उपर्युक्त परिभाषा को भी अब पूर्णतया सत्य नहीं माना जा सकता। आप इस पुस्तक के अगले अध्यायों में पढ़ेंगे कि बीसवीं शताब्दी में वैज्ञानिक नये खोजे गए ऐल्फा कणों (α-particles), प्रोटानों (protons) या न्यूट्रानों (neutrons) की सहायता से कुछ तत्वों को अन्य तत्वों में बदलने में सफल हो गए हैं। स्पष्ट है कि अब वह परिभाषा कि 'तत्व अपने से सरल अन्य पदार्थों में बदले नहीं जा सकते' गलत सिद्ध हो गई है। उदाहरण के लिए 1939 ई० में ह्रान तथा स्ट्रासमान (Hahn and Strassman) नामक वैज्ञानिकों ने यूरेनियम (Uranium) नामक तत्व पर न्यूट्रानों से बमबारी की और इस प्रकार यूरेनियम को उससे हल्के तत्वों-क्रिप्टान (Krypton) तथा बेरियम (Barium) में विभक्त करने में सफलता पाई। सच तो यह है कि आज वैज्ञानिक नई रेडियो ऐक्टिव तकनीक (Radioactive technique) से प्रायः एक तत्व को दूसरे तत्व में सरलता से बदल सकता है। आज यह सम्भव है कि प्रयोगशाला में पारे को सोने में सचमुच परिवर्तित किया जा सकता है, यद्यपि इस विधि से प्राप्त सोने की सूक्ष्म मात्रा प्राकृतिक सोने से हजारों गुनी मंहगी पड़ेगी। इस प्रकार से यह कहा जा सकता है कि आधुनिक वैज्ञानिकों ने कीमियागारों के स्वप्न को सत्य तो सिद्ध कर दिया है, परन्तु इससे तत्वों के बारे में बॉयल की सरल परिभाषा भी गलत सिद्ध हो गई है। इसीलिए बीसवीं शताब्दी में 'तत्व' की एक नई परिभाषा दी गई है जिसके अनुसार प्रत्येक तत्व की 'परमाणु संख्या' निश्चित होती है। परमाणु संख्या की इस नवीन धारणा का विवरण आपको अगले अध्याय में मिलेगा। इस स्थल पर तो हम आपको अठारहवीं तथा उन्नीसवीं शताब्दी में विभिन्न तत्वों की खोज के बारे में कुछ रोचक बातें बताने का प्रयत्न करेंगे।

प्राचीन तत्व

आज जब हम तत्वों के इतिहास को दुहराने का प्रयत्न करते हैं, तो मालूम होता है कि प्राचीनकाल में मानव केवल 10-11 तत्वों से ही परिचित था। स्वाभाविक ही था कि मनुष्य ने सबसे पहले उन तत्वों को पहचाना और उन्हें प्रयुक्त किया जो प्रकृति में मुक्त अवस्था में स्वयं पाए जाते हैं या ऐसी अवस्था में मिलते हैं जिनसे शुद्ध तत्व सुगमता से निष्कर्षित किए जा सकते हैं। वस्तुतः प्रकृति में मुक्त अवस्था में पाए जाने वाले 6 तत्वों – सोना, चांदी, तांबा, प्लेटिनम, कार्बन तथा गन्धक से हम दीर्घकाल से परिचित रहे हैं। ऐसा अनुमान किया जाता है कि इसी क्रम में सातवें तत्व लोहे का सर्वप्रथम परिचय हमारे पूर्वजों को उन उल्कापिंडों (Meteorites) में मिला होगा जो समय-समय पर दूर आकाश से पृथ्वी पर गिरते रहते हैं। पर यहां यह भी कह देना उचित होगा कि खनिजों से लोहे के निष्कर्षण (Metallurgy of iron) की विधि से भी मानव लगभग चार हजार वर्षों से परिचित है। यह तो निश्चित पता नहीं है कि इस निष्कर्षण की विधि की पहली खोज किस देश में हुई परन्तु इसमें कोई सन्देह नहीं है कि हमारे पूर्वज इससे दीर्घकाल से परिचित रहे हैं। उदाहरण के लिए दिल्ली में कुतुबमीनार के पास गुप्तकालीन लौह स्तम्भ वैज्ञानिकों के लिए आज भी आश्चर्य और कौतूहल का विषय बना हुआ है कि किस प्रकार इसका लोहा इतनी शताब्दियों से जंग लगने से बचा रहा है।

उपर्युक्त सात तत्वों के अतिरिक्त विभिन्न देशों में सीसा, टिन, पारा और जस्ता नामक धातुओं का निष्कर्षण दीर्घकाल से होता रहा है, यद्यपि इनके खोजे जाने का निश्चित काल ज्ञात नहीं है।

ऊपर बतलाया जा चुका है कि सत्रहवीं शताब्दी तक रसायन शास्त्र का मुख्य अध्ययन उन कीमियागारों ने किया जो 'पारस पत्थर' की खोज में लगे थे, जिससे कम मूल्य वाली धातुओं को सोने में परिवर्तित किया जा

सके। यद्यपि ये कीमियागार अपने इन प्रयासों में असफल रहे, परन्तु इन सब खोजों के बीच इन्होंने आर्सेनिक (Arsenic), ऐन्टीमनी (Antimony), बिस्मथ (Bismuth) तथा फॉस्फोरस (Phosphorous) नामक तत्वों के खोजने में अवश्य सफलता पाई। इन तत्वों के गवेषकों के नाम भी इतिहास के परतों में खो गए हैं, केवल फॉस्फोरस का पता चलाने वाले रसायनज्ञ हेनिग ब्रांड (Hennig brand) के नाम से हम परिचित हैं।

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि प्राचीन काल से ज्ञात ग्यारह तत्वों को छोड़कर बाद में केवल चार तत्वों की खोज सत्रहवीं शताब्दी के अन्त तक हो पाई। अठारवीं शताब्दी में लगभग एक दर्जन अन्य नए तत्वों की खोज हुई और उन्नीसवीं शताब्दी में करीब पांच दर्जन तत्वों का पता चला। इस प्रकार सन् 1936 तक रसायनज्ञ 88 तत्वों से पूर्णतया परिचित थे और उन्हें यह भी विदित था कि तत्वों की तालिका के बीच-बीच में रिक्त स्थानों पर चार अन्य तत्वों की पुष्टि करनी शेष है। शीघ्र ही रसायनज्ञ इन चार तत्वों की खोज में सफल हो गए और इस प्रकार से सबसे हल्के तत्व हाइड्रोजन से लेकर सबसे भारी 92 वें तत्व यूरेनियम तक की तालिका पूरी हो गयी। इसके बाद अगले वर्षों में वैज्ञानिक यूरेनियम से आगे के नए **कृत्रिम तत्वों** के संश्लेषण में सफल हुए। अगले पृष्ठों में क्रमशः इन तत्वों की संक्षिप्त कहानी प्रस्तुत करने का प्रयत्न किया जाएगा।

वायुमंडलीय तत्वों की खोज :

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि सत्रहवीं शताब्दी के अन्त तक जो तत्व ज्ञात थे, वे सभी साधारण वायुमंडल के ताप पर ठोस (Solid) अवस्था में पाए जाते हैं। अठारहवीं शताब्दी के मध्य तक वायु को केवल एक प्रकार की गैस माना जाता था परन्तु इस शताब्दी के उत्तरार्द्ध में फ्रांसीसी रसायनज्ञ लेव्वासिए तथा ब्रिटिश रसायनज्ञ प्रीस्टले के प्रयत्नों के फलस्वरूप सिद्ध

हुआ कि वायु लगभग 4:1 के अनुपात में नाइट्रोजन तथा आक्सीजन का **मिश्रण** है। उस काल के वैज्ञानिकों को अपने मौलिक विचारों के लिए बहुत त्याग करना पड़ता था। उदाहरण के लिए प्रीस्टले को सन् 1794 में अपने स्वतंत्र विचारों के दंडस्वरूप 61 साल की उम्र में अपना देश छोड़कर अमरीका में शरण लेनी पड़ी थी और इसी वर्ष लेव्वासिए को फांसी की सजा दी गई थी। गिलोटीन (फांसी के तख्ते) पर लेव्वासिए के कितने प्रेरणादायक शब्द थे, 'मैंने सेवा का जीवन जिया है और मैं मौत के लिए तैयार हूँ।'

शीघ्र ही ब्रिटिश वैज्ञानिक हेनरी कैवेंडिश ने प्रदर्शित किया कि जल एक नए तत्व हाइड्रोजन का आक्साइड (H_2O) है।

उन्नीसवीं शताब्दी के अन्त में मुख्यत: भौतिकशास्त्री लार्ड रैले तथा रसायनज्ञ सर विलियम रैमजे के प्रयत्नों के फलस्वरूप वायु में पांच निष्क्रिय गैसों की खोज हुई, जिनके नाम हैं: आर्गन, हीलियम, क्रिप्टन, नीऑन तथा जीनॉन। इन गैसों की खोज का इतिहास बड़ा ही रोचक है। लगभग 1890 में रैले ने नाइट्रोजन के घनत्व सम्बन्धी अपने प्रयोगों में देखा कि वायुमंडल से प्राप्त नाइट्रोजन रसायनिक अभिक्रियाओं से प्राप्त नाइट्रोजन से थोड़ी भारी होती है। लगभग दो साल के परिश्रम तथा अपने रसायनज्ञ सहयोगी रैमजे की सहायता से उन्हें पता लगा कि वायुमंडल में लगभग एक प्रतिशत ऐसी गैस होती है, जो नाइट्रोजन से भी अधिक निष्क्रिय है। इस गैस की निष्क्रियता को देखते हुए इसका नाम 'आर्गन' रखा गया। जब इस तत्व की घोषणा 13 अगस्त, 1894 को ब्रिटिश एसोसियेशन की एक बैठक में की गई, तो सारे वैज्ञानिक चकित और ठगे से रह गए। जैसा कि आप अगले पृष्ठों में पढ़ेंगे कि उन्नीसवीं शताब्दी में अनेक रसायनज्ञ विभिन्न खनिजों तथा अन्य स्रोतों में सूक्ष्म से सूक्ष्म मात्रा में उपस्थित तत्वों की खोज में संलग्न थे और अपने इन प्रयत्नों में कभी-कभी लाखों भाग में एक भाग की सूक्ष्म उपस्थिति वाले तत्वों का पता लगाने के लिए भी सतर्क रहते थे। उन्हें

इस बात से अत्यन्त आश्चर्य हुआ कि चारों ओर वायुमंडल में एक नवीन तत्व एक प्रतिशत जैसी बड़ी मात्रा में उपस्थित रहा और उन्हें इसका आभास भी न मिला।

इन 'निष्क्रिय' तत्वों की कहानी में एक अन्य बात का उल्लेख कर देना भी अनुचित न होगा। इनकी गवेषणा के लगभग 65 वर्ष बाद तक सब रसायनज्ञ यही जानते-मानते रहे कि ये सब गैसें किसी भी प्रकार की क्रिया नहीं करतीं। बहुत प्रयत्नों के बाद रसायनज्ञ पावेल इनके एक विशेष प्रकार के यौगिक बनाने में सफल हो पाए थे जिसमें हाइड्रोक्यूनोन के क्रिस्टलों, पिंजड़ेनुमा घेरों में इन गैसों के अणु बंदी बनाये जा सकते थे। लगभग 1961-62 में कैनेडा के ब्रिटिश कोलम्बिया विश्वविद्यालय में डाक्टर बार्टलेट ने प्रदर्शित किया कि जीनॉन तथा फ्लोरीन को साथ गरम करने से ठोस जीनॉन टेट्राफ्लोराइड के क्रिस्टल बड़ी सुगमता से प्राप्त किए जा सकते हैं। निष्क्रिय गैसों के इस मनोरंजक इतिहास से स्पष्ट है कि विज्ञान के क्षेत्र में पुरानी से पुरानी धारणाएं नई **गवेषणाओं** के फलस्वरूप नित्य ही परिवर्तित होती रहती हैं।

तत्वों की गवेषणा में प्रयुक्त प्रविधियाँ:

पिछली दो शताब्दियों में गवेषित लगभग 80 तत्वों की गवेषणा के साथ सम्बन्धित तिथियाँ, नाम तथा वृतान्त आसानी से दिए जा सकते हैं और संक्षेप में इस विवरण को इस अध्याय के अंत में देने का प्रयत्न किया गया है।

तत्वों की गवेषणा में प्रयुक्त प्रमुख प्रविधियों का विवरण देने के पहले एक अन्य बात का उल्लेख करना उचित ही होगा। तत्वों की गवेषणा के इतिहास से यह स्पष्ट हो जाता है कि कुछ तत्वों की गवेषणा का श्रेय तो मुख्यतः केवल एक रसायनज्ञ को दिया जा सकता है, परन्तु अधिकतर तत्वों की गवेषणा कई दशकों तक अनेकानेक वैज्ञानिकों के सतत प्रयत्नों के

फलस्वरूप ही संभव हो पाई। उदाहरण के लिए खनिजों के विश्लेषण में विशेष रुचि रखने वाले एक अंग्रेज पादरी विलियम ग्रेगरी (William Gregory) ने सन् 1791 में प्रदर्शित किया कि उनके गिरजाघर के पास की मिट्टी में ही उन्हें एक नए तत्व की उपस्थिति का आभास मिला है। कुछ वर्षों बाद इस तत्व की गवेषणा की दिशा में क्रमशः जर्मनी, फ्रांस तथा इंग्लैंड के प्रमुख रसायनज्ञों-क्लैपराथ तथा रोज (Klaproth and Rose), वाउक्वेलिन (Vaquqelin) और वोलैस्टन (Wollaston) के नाम विशेष रूप से उल्लेखनीय हैं। यद्यपि इस तत्व 'टाइटेनियम' (Titanium) का नामकरण रसायनज्ञ क्लैपराथ ने किया, तथापि इसको पृथक तत्व के रूप में अलग करने में प्रथम आंशिक सफलता वर्षों बाद सन् 1825 में स्वीडन के प्रमुख रसायनज्ञ बर्जीलियस को मिली। इसके भी 85 वर्षों के बाद अनेक रसायनज्ञों के प्रयत्नों के फलस्वरूप 1910 में अमरीकी रसायनज्ञ हंटर (Hunter) इस धातु को 99.9 प्रतिशत शुद्धता में प्राप्त कर पाए। इस गवेषणा के बाद भी 38 वर्ष तक यह तत्व 'टाइटेनियम' केवल रसायनिक प्रयोगशालाओं में ही अध्ययन का विषय रहा। सन् 1948 में अमरीका के खनिज विभाग के कुछ रसायनज्ञों ने इसके हल्के घनत्व और ऊंचे **द्रवणांक** की ओर संसार का ध्यान आकर्षित किया। अपने इन गुणों के कारण वायुयान निर्माण-कार्य में इस तत्व की उपयोगिता स्पष्ट थी। कठोरता में यह धातु अपनी शुद्ध अवस्था में फौलाद का मुकाबला करती है और संसार में इसके खनिजों का इतना बाहुल्य है कि कुछ रसायनज्ञों का तो यहां तक अनुमान है कि एक न एक दिन यह धातु लोहे और फौलाद का स्थान ले लेगी। कठिनाई अभी तक केवल यह है कि किस प्रकार सस्ते प्रक्रम से इसे शतप्रतिशत शुद्ध रूप में प्राप्त किया जा सके, क्योंकि सूक्ष्म मात्रा में भी अशुद्धिता इसकी कठोरता को बहुत कम कर देती है। टाइटेनियम के इस मनोरंजक इतिहास से कुछ बातें अवश्य स्पष्ट होती हैं। यद्यपि इस धातु का

प्रथम आभास 1791 में मिल गया था और तभी से विभिन्न देशों के अनेकानेक प्रमुख रसायनज्ञों ने इस दिशा में सतत् प्रयत्न किए, तो भी इसे शुद्ध अवस्था में प्राप्त करने में 119 वर्ष लग गए और आज भी वैज्ञानिक इसके निष्कर्षण की अधिक सरल विधि खोजने में लगे हुए हैं।

इस प्रकार तत्वों की गवेषणा का इतिहास बहुत मनोरंजक है। अब हम संक्षेप में उन प्रविधियों का उल्लेख करेंगे जो इस कार्य में विशेष रूप से सहायक सिद्ध हुई हैं।

(क) **खनिज तथा विश्लेषण-रसायनज्ञों का कार्य**: अठारहवीं तथा उन्नीसवीं शताब्दी में अनेक तत्वों की गवेषणा लगभग उसी प्रकार हुई, जैसा कि टाइटेनियम का एक दृष्टान्त लेकर ऊपर प्रदर्शित किया गया है। इस प्रक्रम के मुख्य चरण थे: रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा किसी खनिज में नए तत्व की उपस्थिति का अनुमान, उस तत्व के किसी यौगिक का रासायनिक विधियों द्वारा खनिज से पृथक्करण तथा शोधन और अन्त में इस यौगिक से पहले अशुद्ध और क्रमशः शुद्ध तत्व का स्वतन्त्र रूप में निष्कर्षण। इन क्रियाओं में मुख्यतः विश्लेषणात्मक रसायन की विधियों का उपयोग हुआ और इस प्रकार नए खनिजों की खोज और उनके विश्लेषण-प्रयत्नों से अठारहवीं और विशेषतया उन्नीसवीं शताब्दी में बहुत से तत्वों की खोजें हुई, जिनमें से कुछ के नाम हैं: कोबाल्ट (Cobalt), मैगनीज़ (manganese), निकेल (nickel), क्रोमियम (Chromium), मालिबडेनम (molybdenum), टेल्यूरियम (tellurium), टंगस्टेन (tungsten), वैनेडियम (Vanadium), नियोबियम (Niobium), टैन्टलम (tantalum), यूरेनियम (Uranium), प्लैटिनम (Platinum), पैलेडियम (Palladium) रुथेनियम

(Ruthenium) रोडियम (Rhodium) ऑस्मियम (Osmium), तथा इरीडियम (iridium).

उपर्युक्त गवेषणाओं में मुख्यतः यूरोप के अनेक देशों के रसायनज्ञों ने योगदान दिया परन्तु इनमें स्वीडन के जे० जे० बर्जीलियस प्रमुख हैं, जिनका नाम लगभग 10 तत्वों की गवेषणा के साथ जोड़ा जाता है।

(ख) **विद्युत की सहायता से तत्वों की गवेषणा** : सन् 1800 में इटली के वैज्ञानिक वोल्टा (Volta) ने प्रथम विद्युत बैटरी का आविष्कार किया जिसको 'वोल्टा की पाइल' का नाम दिया गया। इस गवेषणा के कुछ ही महीनों बाद इस बैटरी से प्राप्त विद्युत धारा की सहायता से निकलसन तथा कारलाइल (Nicholson and Carlisle) ने जल को उसके घटक तत्वों-हाइड्रोजन तथा आक्सीजन में विच्छेदित किया। इसके कुछ वर्षों बाद लंदन के रायल इन्स्टीट्यूट में वैज्ञानिक हम्फ्रे डैवी (Humphray Davy) ने विद्युत धारा के रासायनिक प्रभावों पर अपने प्रयोग आरम्भ किए, और शीघ्र ही पिघले हुए कास्टिक पोटाश (KOH) में विद्युतधारा प्रवाहित करके धात्वीय पोटेशियम (Potassium) को अलग किया। इसके बाद डैवी ने इसी विधि से सोडियम (Sodium), बेरियम (Barium), स्ट्रांशियम (Strontium), कैल्सियम (Calcium) तथा मैग्नीशियम (Magnesium) इन पांच तत्वों की गवेषणा की।

उपर्युक्त तत्वों की गवेषणा परोक्ष रूप में अन्य कई तत्वों के निष्कर्षण में सहायक हुई। पोटेशियम तथा सोडियम ऐसे सक्रिय तत्व हैं कि इनमें अन्य तत्वों के यौगिकों से उनके घटक-तत्व पृथक करने की क्षमता विशेष रूप से होती है। इसीलिए 1807 में

पोटेशियम की गवेषणा के लगभग 20 वर्षों के अन्दर रसायनज्ञों को उनके यौगिकों से सिलिकन (Silicon), टाइटेनियम, जरकोनियम (Zirconium), थोरियम (Thorium), सीरियम (Cerium), बेरीलियम (Beryllium), बोरान (Boron), तथा एल्यूमिनियम (Aluminium) को तत्व रूप में पृथक करने में सफलता मिली। इसके पहले इन तत्वों में से कुछ की उपस्थिति का आभास तो था परन्तु इनको तत्व रूप में प्राप्त करना सम्भव न हो पाया था।

(ग) **स्पेक्ट्रोस्कोप की सहायता से खोजे गये तत्व**: भले ही रसायनज्ञ अपने प्रयोगों से किसी तत्व की उपस्थिति के बारे में लगभग निश्चित मत बना लें और कभी-कभी उस काल्पनिक तत्व के कुछ यौगिक भी पृथक कर लें, तो भी समस्त वैज्ञानिक जगत उस तत्व के अस्तित्व को तभी स्वीकार कर पाता है, जब उसके गुण अन्य ज्ञात तत्वों से पूर्णतया तथा स्पष्टतया भिन्न सिद्ध हो जाते हैं। इसके विपरीत शायद आरम्भ में यह बात आपको आश्चर्यजनक लगे कि तत्वों के ऐसे अनूठे गुण भी निर्धारित किए जा सकते हैं कि तत्व या उसके यौगिकों को पृथक किए बिना, सबको यह विश्वास हो जाए कि अमुक खनिज या पदार्थ में एक नया तत्व उपस्थित है। इस अन्तिम बात को 'एलकली धातुओं—लीथियम, सोडियम तथा पोटेशियम- से सादृश्य रखने वाले तत्वों रूबीडियम तथा सीज़ियम की गवेषणा से प्रदर्शित किया जा सकता है।

लगभग 1859-60 में राबर्ट बुनसेन नामक एक रसायनज्ञ तथा गुस्टाव किरकाफ नामक एक भौतिकशास्त्री की टीम ने रासायनिक विश्लेषण में स्पेक्ट्रोस्कोप नामक यंत्र का उपयोग आरम्भ किया। स्पेक्ट्रोस्कोप में यह क्षमता होती है कि वह अपने ऊपर पड़ने वाले प्रकाश को विभिन्न रंग की रेखाओं में विभाजित कर देता है। आज तो

वैज्ञानिकों ने बहुत बड़े-बड़े और प्रभावशाली स्पेक्ट्रोस्कोप यंत्र बना लिए हैं, परन्तु इन दोनों वैज्ञानिकों ने तो सिगार के एक डिब्बे, दो छोटी दूरबीनों तथा एक प्रिज्म की सहायता से ही अपना उपकरण बना लिया था। इन्होंने देखा कि किसी ज्वाला में साधारण नमक (सोडियम क्लोराइड) के विलयन की एक बूंद डालें, तो ज्वाला पीली हो जाती है और स्पेक्ट्रोस्कोप द्वारा देखने पर उसके प्रकाश में दो पीली रेखाएं स्पष्ट दिखलाई देती हैं। इसी प्रकार पोटेशियम लवण एक बैंगनी और एक लाल रेखा देते हैं और लीथियम लवण दो तेज लाल रेखाओं के साथ कुछ मध्यम नारंगी रेखाएं देते हैं। स्पेक्ट्रोस्कोप में दिखलाई देने वाले वर्णक्रम में इन रेखाओं की स्थिति एक दूसरे से पृथक सदैव अपने निश्चित स्थानों पर प्रकट होती है। इन रेखाओं की स्थिति में अन्य तत्वों की उपस्थिति से भी कोई अन्तर नहीं पड़ता है। किसी पदार्थ में कई तत्वों की उपस्थिति को उस पदार्थ के एक सूक्ष्म मात्रा में प्राप्त प्रकाश के विश्लेषण से सिद्ध किया जा सकता है।

सन् 1860 के आरम्भ में बुनसेन महोदय अपनी इस नई विधि से आसपास पाए जाने वाले पदार्थों की रचना का अध्ययन कर रहे थे। उनके देश में डर्खाडम नामक स्थान पर एक सोते का खारा पानी उपचार के कार्य में प्रयोग होता था। उन्होंने इस पानी की एक बूंद से अपने स्पेक्ट्रोस्कोप में परीक्षण किया तो देखा कि अन्य ज्ञात तत्वों जैसे कैलसियम, स्ट्रांशियम, लीथियम, सोडियम, पोटेशियम की वर्णक्रम रेखाओं के अतिरिक्त कुछ आसमानी और कुछ विशिष्ट गहरी लाल रेखाएं उपस्थित थीं। इससे वे इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि ये रेखाएं नए तत्वों की द्योतक हैं और उन्होंने इन तत्वों का नाम सीजियम (लैटिन शब्द जिसका अर्थ होता है आसमानी) तथा

रुबीडियम (लैटिन शब्द जिसका अर्थ है गहरा लाल)प्रस्तावित किया। शीघ्र ही वे इन तत्वों को सूक्ष्म मात्रा में पृथक करने में सफल हो गए।

इसी विधि से ब्रिटिश वैज्ञानिक कुक्स ने थैलियम (Thallium) तथा जर्मन वैज्ञानिक रिख्टर (Richter) तथा राइख (Reich) ने इंडियम की गवेषणा की। वर्णक्रम का रंग नील (Indigo) की तरह था अतएव इसका नाम इंडियम पड़ा।

एक अन्य तत्व हीलियम की खोज से शीघ्र ही यह भी स्पष्ट हो गया कि स्पेक्ट्रोस्कोपी की विधि तो इतनी विस्तृत है कि इससे न केवल पृथ्वी पर वरन् दूर सितारों में उपस्थित तत्वों का भी पता लगाया जा सकता है। इस प्रकार यह विधि आकाशीय ग्रहों की रचना जानने में भी सहायक हुई है। सन् 1868 में एक फ्रांसीसी वैज्ञानिक जैनसेन (Janssen) और अंग्रेज वैज्ञानिक लाकयर (Lockyer) सूर्यग्रहण के समय उसके आसपास से आने वाले प्रकाश का अध्ययन स्पेक्ट्रोस्कोप से कर रहे थे तो उन्होंने देखा कि सोडियम की पीली दो रेखाओं के पास ही, परन्तु उनसे पृथक एक तीसरी रेखा इस प्रकाश के वर्णक्रम में प्रकट होती है। स्पष्ट था कि यह नयी पीली रेखा किसी ऐसे तत्व के कारण आती है जो सूर्य के चारों ओर वातावरण में तो उपस्थित है परन्तु जिसका कोई आभास तब तक पृथ्वी पर नहीं मिला था। यूनानी भाषा में सूर्य को हीलिआस (Helios) कहते हैं और इसीलिए इस नए तत्व को 'हीलियम' का नाम दिया गया। लगभग 30 वर्षों बाद ब्रिटिश वैज्ञानिक रैम्जे (Ramsay) ने क्लीवाइट नामक खनिज को सलफ्यूरिक अम्ल के साथ गरम करके इस हीलियम गैस को पृथ्वी पर प्राप्त किया और शीघ्र ही यह सिद्ध किया कि यह नया तत्व निष्क्रिय या उत्कृष्ट गैसों के समूह का सदस्य है जिसके अन्य सदस्य हैं– आर्गन, क्रिप्टन, नीऑन, जीनॉन तथा रैडान।

(घ) **नए तत्वों की खोज में आवर्त्त तालिका का योगदान**: तत्वों की गवेषणा के उपर्युक्त विवरण से पता चलता है कि अधिकतर नए तत्वों की गवेषणा अठारहवीं तथा उन्नीसवीं शताब्दियों में हुई। सन् 1789 में वैज्ञानिक लैव्वासिए ने 33 तत्वों की गणना की, जिसमें 24 तत्व असली थे। सन् 1829 में अपने अन्तिम समय में डैवी महोदय ने निश्चयपूर्वक 53 तत्वों का हिसाब लगाया। अगले 40 वर्षों में लगभग 10 तत्वों का और पता लगा। इस प्रकार सन् 1869 तक लगभग 63 तत्वों की खोज हो चुकी थी। परन्तु इस समय तक तत्वों की खोज केवल अनुमान से ही होती रहती थी और भाग्यवश ही किसी वैज्ञानिक को उपर्युक्त विधियों में से किसी एक विधि से कदाचित् नए तत्व का आभास मिल जाता था। कोई वैज्ञानिक यह नहीं कह सकता था कि कुल कितने तत्वों की गवेषणा होनी है या किसी तत्व को किस प्रकार के खनिज में किस विधि से ढूंढ़ा जा सकता है। संक्षेप में तत्वों के गुणों के बारे में कोई वर्गीकृत ज्ञान इस समय तक उपलब्ध नहीं था। परन्तु सन् 1869-71 में अन्य वैज्ञानिकों के कार्य को अधिक उन्नत और विस्तृत करके रूसी वैज्ञानिक डिमिट्री मेन्डेलीफ़ (Dmitri Mendeleef) ने उस समय तक ज्ञात लगभग **60 तत्वों को उनके परमाणु भार के क्रम में रखा तो उन्होंने देखा कि कुछ अपवादों को छोड़कर अन्य सब तत्व समान गुण वाले तत्वों के समूहों में बंट जाते हैं।** इस वर्गीकरण के कार्य में वैज्ञानिक मेंडेलीफ़ ने बड़ी दूरदर्शिता प्रदर्शित की। स्पष्ट था कि तत्वों की गवेषणा का क्रम तब तक जारी रहा होगा जब तक सारे संभावित तत्व गवेषित न हो पाए होंगे। इसलिए जहां कहीं समान गुणों वाले तत्वों को एक समूह में रखने में कठिनाई हुई, वहां मेंडेलीफ ने कुछ **रिक्त स्थान छोड़ दिये**, जो इस बात के द्योतक थे कि इन स्थानों पर

स्थित होने वाले तत्वों की गवेषणा अभी करनी है। इस प्रकार 1870 में मेंडेलीफ ने तत्वों की **जो तालिका तैयार की, उसे आवर्त्त तालिका का नाम दिया जाता है।**

आवर्त्त तालिका की गवेषणा से अन्य तत्वों की खोज में विशेष सहायता मिली। सन् 1875 में फ्रांसीसी रसायनज्ञ लकाक द ब्वासबोद्रां (Lecoq de Boisbaundran) पिरेनीज.(Pyrenese) की खानों में पाये जाने वाले जिंक सलफाइड खनिज का विश्लेषण वर्णक्रम पद्धति से कर रहे थे, तो उन्होंने एक नई बैंगनी रेखा के आधार पर एक नवीन तत्व की कल्पना की। इसके पश्चात् उन्होंने इस तत्व की सूक्ष्म मात्रा पृथक करने में भी सफलता पाई और शीघ्र ही वैज्ञानिक इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि इस नए तत्व के परीक्षणों द्वारा ज्ञात गुणों और मेंडेलीफ के काल्पनिक तत्व 'एका एल्यूमिनियम' (संस्कृत एक:) के गुणों में आश्चर्यजनक सादृश्य है। फ्रांस के पुराने नाम गैलिया के ऊपर इस नवीन तत्व का नाम 'गैलियम' (Gallium) रखा गया। इसी प्रकार स्कैंडेनेविया निवासी रसायनज्ञ निल्सन (Nilson) तथा क्लीव (Cleve) ने एक नए तत्व 'स्कैंडियम' (Scandium) की खोज की जिसको कि मेंडेलीफ ने अपनी आवर्त्त तालिका में 'एका बोरान' का नाम दिया था। लगभग 10 वर्ष बाद जर्मन रसायनज्ञ विकंलर ने सन् 1885 में एक नए तत्व 'जरमेनियम' की खोज की जो मैडेलीफ द्वारा कल्पित 'एकासिलिकान' से प्रत्येक गुण में मिलता था।

इसी प्रकार क्रमशः नए-नए तत्वों की गवेषणा के बाद आवर्त्त तालिका का रूप संवरता गया और उसमें नए तत्वों को स्थान मिलता गया। उदाहरण के लिए उन्नीसवीं शताब्दी के अन्त में निष्क्रिय गैसों — हीलियम, नीऑन, आर्गन, क्रिप्टन तथा जीनॉन — की गवेषणा के बाद उन्हें एक नए 'शून्य समूह' में रखा गया। आवर्त्त तालिका तथा तत्वों के इतिहास में एक प्रमुख चरण मोज़ले (Moseley) की परमाणु संख्या नामक खोज थी। सन्

1913 में मोज़ले ने प्रदर्शित किया कि प्रत्येक तत्व के एक्सरे वर्णक्रम का विश्लेषण करके उसे एक संख्या प्रदान की जा सकती है, जिससे आवर्त्त तालिका में उस तत्व का क्रमिक स्थान स्पष्ट हो जाता है। निम्नलिखित तत्वों के चिन्हों में उनकी परमाणु संख्या बांई ओर नीचे प्रदर्शित की गई है: $_1H$, $_2He$, $_3Li$, $_4Be$, $_5B$, $_6C$, $_7N$, $_8O$ । इसी प्रकार उस समय ज्ञात सबसे भारी तत्व यूरेनियम की परमाणु संख्या 92 निकली। स्पष्ट था कि आवर्त्त तालिका में सबसे हल्के तत्व हाइड्रोजन ($_1H$) तथा यूरेनियम ($_{92}U$) के बीच केवल 90 तत्वों के लिए स्थान हो सकता है।

पृष्ठ संख्या 32 पर आवर्त्त तालिका का एक वर्तमान रूप प्रदर्शित किया गया है (चित्र-1)। परमाणु रचना तथा अन्य गुणों के आधार पर तत्वों को निम्नलिखित समूहों में बांटा जा सकता है:

(क) प्रतिनिधि या निरूपक तत्व (Representative elements or typical elements,)
(ख) संक्रमण तत्व (Transition elements)
(ग) आन्तरिक संक्रमण तत्व (Inner-transition elements)

एक नवीन प्रकार की आवर्त्त तालिका में इन विभिन्न प्रकार के तत्वों को पृथक पृथक प्रदर्शित किया गया है इस प्रकार की आवर्त्त तालिका को उन्नत करने में वैज्ञानिक जूलियस थामसन (Julius Thomson) का नाम विशेष उल्लेखनीय है। अगले अध्याय में आप तत्वों की इलेक्ट्रान संरचना के बारे में पढ़ेंगे तो स्पष्ट हो जाएगा कि इस प्रकार की आवर्त्त तालिका में किसी तत्व के स्थान तथा उसके इलेक्ट्रान संरचना में बड़ा घनिष्ट सम्बन्ध है और ऐसा होना स्वाभाविक भी है क्योंकि किसी भी तत्व के समस्त गुण उसके परमाणुओं की इलेक्ट्रान संरचना पर ही आधारित होते हैं।

तत्वों की परमाणु संख्या, संक्षिप्त संकेत, नाम, गवेषणा वर्ष और नाम के स्रोत का विवरण नीचे दिया गया है।

1. H, Hydrogen, हाइड्रोजन, 1766। फ्रेंच शब्द 'hydrogene' से बना है, जिसका अर्थ है पानी पैदा करने वाला।
2. He, Helium, हीलियम, 1868। यूनानी शब्द 'helios' सूर्य से बना है। सर्व प्रथम सूर्य के वर्णक्रम से इसका पता चला था।
3. Li, Lithium, लिथियम, 1817। यूनानी शब्द 'lithos' से बना है। इस शब्द का अर्थ है पत्थर।
4. Be, Berrylium, बेरीलियम, 1797। इसके खनिज 'Beryl' के आधार पर यह नाम पड़ा।
5. B,Boron, बोरॉन, 1808। इसके यौगिक 'Borax' से यह नाम पड़ा।
6. C, Carbon, कार्बन प्रागैतिहासिक लैटिन शब्द 'Carbo', कोयला से इसका नामकरण हुआ।
7. N, nitrogen, नाइट्रोजन, 1772। फ्रेंच शब्द 'Nitrogene' जिसका अर्थ होता है नाइटर (शोरा) पैदा करने वाला।
8. O, Oxygen, आक्सीजन, 1771। फ्रेंन्च शब्द 'Oxygene' जिसका अर्थ है अम्ल पैदा करने वाला। पहले ऐसी धारणा थी कि प्रत्येक अम्ल में आक्सीजन के परमाणु अवश्य पाए जाते हैं।
9. F, Flourine, फ्लोरीन, 1886। खनिज 'flourspar' के नाम से यह नाम पड़ा। फ्लोस्पार का नाम लैटिन शब्द (fluo) 'बहने वाला' से लिया गया है, क्योंकि धातु शोधन में इस खनिज का प्रयोग अशुद्धियाँ निकालने में होता था।

10. Ne, Neon, निऑन, 1898। यूनानी शब्द 'Neos' से बना है जिसका अर्थ है नवीन।
11. Na, Sodium,सोडियम, 1811,कास्टिक सोडा से बनाया गया। इसका चिन्ह लैटिन शब्द 'Natrium' नैट्रियम से लिया गया है।
12. Mg, Magnesium, मैगनीशियम, 1808। 'Magnesia lithos' मैगनीसियम पत्थर, एक श्वेत खनिज के रूप में यूनान के मैगनीशिया प्रदेश में मिलता था। इसी के नाम पर इस तत्व का नाम पड़ा।
13. Al, Aluminium एल्यूमिनियम, 1827। 'Alum' फिटकरी के नाम पर इसका नाम पड़ा।
14. Si, Silicon, सिलिकान, 1824। लैटिन शब्द 'Silex' या Silicis' के आधार पर यह नाम पड़ा। यह सिलिकन का एक यौगिक है।
15. P, Phosphorus, फॉस्फोरस, 1669। यूनानी शब्द 'Phosphoros' से निकला है जिसका अर्थ है प्रकाश देने वाला।
16. S, Sulphur, सल्फर प्रागैतिहासिक। लैटिन नाम Sulphur के आधार पर यह नाम पड़ा। सल्फर शब्द अपने समानार्थी संस्कृत शब्द 'शुल्वारि' से मिलता जुलता है।
17. Cl, Chlorine, क्लोरीन, 1774। यूनानी शब्द 'Chloros'(हल्का हरा) लिया गया। इस गैस का यही रंग है।
18. Ar, Argon ऑर्गन, 1894। यूनानी शब्द 'Argon' से, जिसका अर्थ है सुस्त। अभिक्रिया करने में यह गैस अत्यन्त शिथिल है। अतः आर्गन नाम पड़ा।
19, K,Potassium, पोटेशियम 1807। पोटाश शब्द से बना। लकड़ी की राख में पोटेशियम कार्बोनेट निकाला गया। इसका चिन्ह (K) लैटिन शब्द Kalium से लिया गया है।

20. Ca, Calcium केल्सियम, 1808। लैटिन शब्द 'Calcis' से, जिसका अर्थ है चूना।
21. Sc, Scandium, स्कैंडियम, 1897, इसके आविष्कर्ता निल्सन तथा क्लीव, स्कैन्डिनेविया के निवासी थे। अतएव अपने देश के नाम पर इसका नाम रखा।
22. Ti, Titanium, टाइटैनियम, 1791, यूनानी दैत्य 'Titans' के नाम पर यह नाम पड़ा।
23. V, Vanadium वनैडियम, 1801, नार्वे की प्रेम तथा सौन्दर्य की देवी Vanadis के नाम पर इसका नाम रखा गया।
24. Cr, Chromium क्रोमियम, 1797। यूनानी शब्द 'Chromos' (रंग) से बना है। क्योंकि इसके लवण रंगीन थे।
25. Mn, Manganese, मेंगनीज, 1774। इटालियन शब्द 'Manganese' से, जिसका लैटिन रूप Magnesius है, जिसका अर्थ है चुम्बकीय।
26. Fe, Iron, आयरन, प्रागैतिहासिक। रोमन शब्द 'Ferrum' से बना है।
27. Co, Cobalt, कोबाल्ट, 1737। जर्मन शब्द 'Kobold' (भूत) से बना है। वास्तव में कुछ अयस्कों से तांबा निकालते समय तांबे के स्थान पर कोबाल्ट मिल जाता था। इसका कारण भूत बाधा मानी जाती थी।
28. Ni, Nickel, निकेल 1751। जर्मन शब्द 'Kupfer Nickel' जिसका अर्थ है निकम्मा तांबा।
29. Cu, Copper, कापर, प्रागैतिहासिक। लैटिन शब्द Cuprum या Cyprium से बना है। रोमनकाल में तांबे के भंडार साइप्रस में पाए जाते थे।

30 Zn, Zinc, जिन्क, सत्रहवीं शताब्दी। जर्मन शब्द Zink से बना है।

31. Ga, Gallium, गैलियम, 1875, Gallia फ्रान्स के नाम पर यह नाम पड़ा।

32. Ge, Germanium, जर्मेनियम, 1886, जर्मनी के नाम पर यह नाम रखा गया।

33. As, Arsenic, अलकीमिया के समय में। यूनानी शब्द Arsenikon पीला रंग। यूनानी लोग आर्सेनिक ट्राई सल्फाइड का उपयोग पीले रंग से रंगने में करते थे।

34. Se,Selenium, सेलेनियम, 1818। यूनानी शब्द 'Selene' के नाम पर यह नाम पड़ा। सेलीन शब्द का अर्थ है चन्द्रमा। यह तत्व टेल्यूरियम से मिलता-जुलता है। टेल्यूरियम का नाम यूनानी शब्द 'Telluris' से आया है। इस शब्द का अर्थ है पृथ्वी।

35. Br, Bromine, ब्रोमीन 1825। यूनानी शब्द 'Bromos' ब्रोमास से लिया गया। ब्रोमास का अर्थ है दुर्गन्ध।

36. Kr, Krypton, क्रिप्टान, 1898। यूनानी शब्द 'Kryptos' क्रिप्टास (छिपा हुआ) से लिया गया है।

37. Rb, Rubidium, रुबिडियम, 1861, लैटिन शब्द 'Rubidus' रुबिडस (लाल) से लिया गया है। वर्णक्रम में लाल रेखाओं के आधार पर इसकी खोज की गई थी।

38. Sr, Strontium स्ट्रांशियम, 1838। यह 'Strontionite, स्ट्रांशियोनाइट खनिज से निकाला गया। इस खनिज का नाम 'Strontian' स्ट्रांशियन स्काटलैंड के नाम पर पड़ा था।

39. Y, Yttrium इट्रियम, 1794। स्वीडेन के ytterby इटरबाई नामक स्थान पर बना था, अतएव इट्रियम नाम पड़ा।

40. Zr, Zirconium, 1789। Zircon, जिरकॉन नामक खनिज के नाम पर यह नाम पड़ा।
41. Nb, Niobium, नियोबियम 1801। यूनानी कथाओं में टैंटालम की पुत्री का नाम था। पहले ऐसी धारणा थी कि नियोबियम और टैंटालम एक दूसरे से मिलते-जुलते हैं।
42. Mo, Molybdnum, मालिबडनम, 1781। यूनानी शब्द 'Molybdos' मालिब्डास के नाम पर यह नाम पड़ा। यह सीसे के अयस्क से निकाला गया था। सीसे (लेड) को यूनानी भाषा में मॉलीब्डास कहते हैं।
43. Te, Technetium, टेकनीशियम, 1937। यूनानी भाषा के शब्द 'Technetos' टेक्नीटास से यह नाम पड़ा। 'टेक्नीटास' का अर्थ है कृत्रिम। यह प्रथम तत्व था जिसे मनुष्य ने कृत्रिम रूप से बनाया।
44. Ru, Ruthenium रुथेनियम, 1844। लैटिन शब्द रूथेनिया (रूस) के नाम पर इसका नाम रखा गया।
45. Rh, Rhoduim रोडियम, 1803। यूनानी शब्द 'Rhodon' जिसका अर्थ है गुलाब। इस तत्व के लवण गुलाबी रंग के होते हैं।
46. Pd, Palladium, पलैडियम 1803। 1801 में पैलस 'Pallas' नामक नक्षत्र का पता लगा था। इसी के नाम पर इस तत्व का नाम पलैडियम पड़ा।
47. Ag, Silver, सिल्वर, प्रागैतिहासिक रोमन शब्द Argentum आर्जेन्टम के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
48. Cd, Cadmium, कैडमियम, 1817। लैटिन शब्द Cadmia कैडमिया से बना है। कैडमिया का नाम Calamine कैलेमीन (रसक) है। यह रसक नामक खनिज से निकाला गया। अतएव कैडमियम नाम रखा गया।

49. In, Indium, इंडियम, 1863। लैटिन शब्द Indicum इंडिकम (नील) से बना है। वर्णक्रम में नील के रंग की रेखाओं से इसकी गवेषणा हुई थी।
50. Sn, Tin, टिन, प्रागैतिहासिक। लैटिन शब्द Stannum स्टैनम से लिया गया है।
51. Sb, Antimony, एन्टिमोनी, अलकेमी के समय। यह नाम लैटिन शब्द ऐन्टीमोनियम (Antimonium) से बना है। ऐन्टी का अर्थ है विपरीत, मोनियम का अर्थ है पृथक दशा में। इसका कारण यह था कि यहं अन्य तत्वों से सरलता से यौगिक बना देता था। इसका चिन्ह प्राचीन लैटिन नाम Stibium स्टिबियम से लिया गया है।
52. Te, Tellurium, टेल्यूरियम, 1783। लैटिन शब्द 'Telluris' टेल्यूरिस (पृथ्वी) के नाम पर यह नाम रखा गया।
53. I, Iodine, आयोडीन 1811। यूनानी शब्द 'Iodes' आयोडस (बैंगनी रंग का) के आधार पर इस तत्व का नाम रखा गया।
54. Xe, Xenon, जीनॉन, 1898। यूनानी शब्द 'Xenos' जेनॉस से यह नाम पड़ा जिसका अर्थ है अपरिचित।
55. Cs, Caesium, सीजियम 1860। लैटिन शब्द Caesius (नीला) से यह नाम पड़ा। बुनसेन तथा किरचाफ ने वर्णक्रम की नीली रेखाओं के आधार पर, वर्णक्रम के अध्ययन द्वारा इस तत्व का पता लगाया था।
56. Ba, Barium, बेरियम, 1808। यूनानी शब्द 'Barys' (भारी) से इसका नाम पड़ा। बेराइट नामक खनिज के भारी होने के कारण इस तत्व का नाम बेरियम पड़ा।
57. La, Lanthanum, लैंथनम, 1839। यूनानी शब्द 'Lanthanein' से बना है। इस शब्द का अर्थ है छिपा होना।

58. Ce,Cerium, सीरियम, 1803। सन् 1801 में सीरस Ceres नामक नक्षत्र का पता चला था। इस नक्षत्र के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
59. Pr, Praseodymium, प्रेसीओडीमियम, 1885। यूनानी शब्द Prasios हरा और didymos जुड़वाँ शब्दों के आधार पर इसका नाम रखा गया। इसका कारण यह था कि इसके लवणों का रंग हरा होता है और भ्रमवश इसे नियोडाइमियम भी समझा जाता था।
60. Nd, Neodymium, नियोडीमियम, 1885। यूनानी शब्द Neo (नवीन) तथा Didymos जुड़वाँ से यह नाम पड़ा। प्रेसीओडीमियम तथा निओडीमियम नामक दोनों तत्वों को Didymium नामक खनिज से पृथक किया गया। ऐसा समझा जाता था कि यह खनिज एक तत्व है।
61. Pm, Promethium, प्रोमीथियम, 1945। यूनानी कथाओं में प्रोमेथियस ने स्वर्ग से आग चुराई जो मनुष्य के उपयोग में आ सके। यह तत्व नाभिकीय अग्नि में से निकाला गया था। अतएव प्रोमीथियस के नाम पर इसका नाम रखा गया।
62. Sm, Samarium, समैरियम, 1879। एक रूसी खान अधिकारी कर्नल समरस्की के नाम पर एक खनिज पदार्थ का नाम Samarskite रखा गया। इसी खनिज में से यह तत्व निकाला गया।
63. Eu, Europium, यूरोपियम, 1901। यूरोप महाद्वीप के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
64. Gd, Gadolinium, गैडोलिनियम, 1886। फिनलैण्ड के रसायन वेत्ता गैडोलिन के नाम पर इस तत्व का नाम गैडोलिनियम पड़ा।
65. Tb, Terbium, टर्बियम 1843। स्वीडेन के एक स्थान Yitterby इटर्बी के नाम पर इस तत्वं का नाम रखा गया

66. Dy, Dysprosium, डायसप्रोसियम, 1886। यूनानी शब्द 'Dysprositos' के आधार पर यह नाम पड़ा। इस शब्द का अर्थ है कठिनाई से मिलना। यह तत्व कठिनाई से मिला था।
67. Ho, Holmium, हॉल्मियम, 1879। लैटिन भाषा में स्टाकहोम का नाम 'Holmia' था।
68. Er, Erbium, अर्बियम, 1843। स्वीडेन के यटर्बी नामक स्थान पर (विरल) मृदाओं के भंडार प्रचुर मात्रा में मिले थे। अतएव इस स्थान के नाम पर इस तत्व का नाम पड़ा।
69. Tm, Thulium, थुलियम, 1878। स्कँडनेवियन द्वीप के पुराने नाम Thulia के आधार पर इसका नाम रखा गया।
70. Yb, Ytterbium, यटर्बियम, 1878। स्वीडेन के यटर्बी नामक स्थान के नाम पर यह नाम पड़ा।
71. Lu, Lutecium, ल्यूटेशियम, 1907। पेरिस का पुराना रोमन नाम Lutecia था। इसी नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
72. Hf, Hafnium, हैफनियम, 1923। कोपेनहेगेन का लैटिन नाम Hafnia था। इसी नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
73. Ta, Tantalum, टैंटलम, 1802। यूनानी देवता Zeus ज्यूस के पुत्र टैंटालस के नाम पर इस तत्व का नाम पड़ा। इसे यह दंड दिया गया था कि वह कंठ तक पानी में खड़ा रहे किन्तु यदि उसने कभी भी जल पीने का प्रयास किया तो पानी नीचे चला जायेगा और वह प्यासा रह जायेगा। टैंटालस के जल की तरह इस तत्व को प्राप्त करने में जो कठिनाई हुई, उसी के कारण इस तत्व का नाम टैंटलम पड़ा।
74. W, Tungsten, टंगस्टन, 1783। स्वीडिश शब्द Tungstone, के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया। टंग स्टोन का अर्थ है भारी पत्थर। Wolfram नामक शब्द से इसका संकेत बना।

75. Rh, Rhenium, रेनियम, 1925। जर्मनी की राइन नदी का नाम लैटिन में Rhenus था। उक्त नदी के नाम पर इस तत्व का नाम पड़ा।
76. Os, Osmium, ऑसमियम, 1804। यूनानी शब्द 'Osme' से यह नाम पड़ा। ऑस्म के अर्थ हैं गंध।
77. Ir, Irridium, इरिडियम, 1804। लैटिन शब्द 'Iridis' से यह नाम पड़ा। इरिडिस का अर्थ है इन्द्र धनुष। इस तत्व के कुछ विलयन इन्द्र धनुष के रंग के दिखते हैं।
78. Pt, Platinum, प्लैटिनम, 16 वीं शताब्दी में। स्पैनिश शब्द Platina से यह नाम रखा गया। प्लैटिना का अर्थ है चांदी।
79. Au, Gold, गोल्ड, प्रागैतिहासिक। रोमन भाषा में सोने को Aurum कहते थे अतएव इसका संकेत Au पड़ा।
80. Hg, Mercury, मर्करी, प्रागैतिहासिक। मरकरी नामक ग्रह के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया। यूनानी भाषा में 'Hydrargyrum' शब्द के आधार पर इस तत्व का संकेत पड़ा। Hydros-जल, Argyros-चांदी।
81. Tl, Thallium, थैलियम, 1861। यूनानी शब्द Thallos,से इस तत्व का नाम पड़ा। इसके वर्णक्रम में चमकदार हरी रेखा पाई गई। थैलास शब्द का अर्थ है "नवजात"।
82. Pb, Lead, लेड, प्रागैतिहासिक। लैटिन नाम Plumbum के नाम पर इसका संकेत पड़ा।
83. Bi, Bismuth, बिस्मथ, अलकेमी काल में। इस तत्व का नाम जर्मन शब्द Weisse masse (श्वेत मात्रा) का अपभ्रंश है।
84. Po, Polonium, पोलोनियम, 1898। इस तत्व के गवेषणाकार

मैडम क्यूरी की जन्म भूमि पौलेंड के नाम पर इस तत्व का नाम पोलोनियम रखा गया।

85. At, Astatine, एस्टेटीन, 1940। यूनानी शब्द 'Astatos' (अस्थिर) से इस तत्व का नाम पड़ा।
86. Rn, Radon, रेडान, 1900। रेडियम के क्षय होने पर उत्पाद के रूप में यह गैस पाई गई। अतएव इसका नाम रेडियम के नाम पर पड़ा और सभी निष्क्रिय गैसों की तरह इसमें 'on' जोड़ दिया गया।
87. Fr, Francium, फ्रांसियम, 1898। फ्रांस के नाम पर इसका नाम फ्रांसियम रखा गया।
88. Ra, Radium, रेडियम, 1898 लैटिन शब्द Radius (किरण) के आधार पर इसका नाम रखा गया क्यों कि यह रेडियोधर्मी विकिरण देता रहता है।
89. Ac, Actinium, ऐक्टिनियम, 1899। यूनानी शब्द Actis (किरण)से इस तत्व का नाम रखा गया क्योंकि इसमें से रेडियो धर्मी किरणें निकलती हैं।
90. Th, Thorium, थोरिमय, 1828। थोराइट नामक खनिज पदार्थ के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया। उक्त खनिज का नाम नार्स देवता थोर के नाम पर रखा गया था। थोर बिजली की गरज के देवता माने जाते थे।
91. Pa, Protoactinium, प्रोटोएक्टिनियम, 1917। Proto प्रथम और ऐक्टीनियम के नाम पर इसका नाम पड़ा क्योंकि यह क्षय होने पर ऐक्टीनियम देता है।
92. U, Uranium, यूरेनियम, 1789।यूरेनस (प्रजापति) ग्रह के नाम पर इसका नाम रखा गया।

93. Np, Neptunium, नेप्ट्यूनियम, 1940। यूरेनस के आगे नेपट्यून (वरुण) ग्रह के नाम पर इसका नाम पड़ा।
94. Pu, Plutonium, प्लूटोनियम, 1940। प्लूटो (यम) नामक ग्रह के नाम पर इसका नाम रखा गया। वरुण के बाद का ग्रह यम (प्लूटो) है।
95. Am, Americium, ऐमेरीशियम 1944। इससे मिलते हुए विरलमृदा तत्व का नाम यूरोप के नाम यूरोपियम रखा गया था। इसी प्रकार अमेरिका में आविष्कृत इस तत्व का नाम ऐमेरीशयम रखा गया।
96. Cm, Curium, क्यूरियम, 1944। इससे मिलता तत्व गैडोलिनियम है जो प्रोफेसर गैडोलिन के नाम पर है। इसी प्रकार मारी क्यूरी के नाम पर इसका नाम क्यूरियम रखा गया।
97. Bk, Berkelium, बर्कीलियम, 1949। बर्कले में स्थित कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय के नाम पर इस तत्व का नाम पड़ा क्योंकि अधिकांश कृत्रिम तत्व इसी स्थान पर बनाए गए।
98. Cf, Californium, कैलिफोर्नियम, 1950। कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय के नाम पर और इसे कैलिफोर्निया राज्य में स्थित होने के कारण इस तत्व का नाम कैलिफोर्नियम पड़ा।
99. Es, Einsteinium, आइंस्टीनियम, 1952। प्रसिद्ध वैज्ञानिक अलबर्ट आइंस्टाइन के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।
100. Fm, Fermium, फर्मियम, 1953। न्यूक्लियर रिएक्टर के निर्माता तथा परमाणु बम योजना के कर्णधार एनरिको फर्मी के नाम पर इसका नाम रखा गया।
101. Md, Mendelevium, मेन्डेलेवियम, 1955। आवर्तसारिणी के आविष्कर्ता जमित्री मेन्डेलीफ के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया।

102. No, Nobelium, नोबेलियम, 1957। स्टाकहोम (स्वीडेन) स्थित नोबेल संस्थान में इस तत्व की खोज की गई अतएव इसका नाम अल्फ्रेड नोबेल के नाम पर नोबेलियम रखा गया।

103. Lr, Lawrencium, लारेंसियम, 1962। साइकलोट्रान के आविष्कर्ता तथा लारेंस रेडिएशन प्रयोगशाला के संस्थापक ई० ओ० लारेंस के नाम पर इस तत्व का नाम रखा गया। परायूरेनियम तत्वों की खोज साइक्लोट्रान के द्वारा हुई है।

104. Unq, कुर्चटोवियम, 1969। रूसी वैज्ञानिक आइगर कुर्चतोव के नाम पर इसका नाम रखा गया। इसका दूसरा नाम रदरफोर्डियम रखा गया।

105. Unp,- हाहनियम 1970। नाभिकीय विखंडन के आविष्कर्त्ता आटो हान के नाम पर इस तत्व का नाम हानियम रखा गया। अन्य नाम नील्स बोरियम रखा गया। अब इन तत्वों का स्वीकृत नाम Unq और Unp हैं।

□□

2

तत्वों की परमाणु संरचना

विषय प्रवेश:

सोलहवीं शताब्दी में वैज्ञानिक बॉयल ने यह विचार प्रस्तुत किया कि तत्वों को अपने से सरलतम घटकों में विभाजित किया जा सकता है। यह बात लगभग तीन सौ बर्षों तक सत्य मानी जाती रही। उन्नीसवीं शताब्दी में केवेंडिश प्रयोगशाला के निदेशक सर जे०जे० थामसन (J.J.Thomson) ने विरल दाब पर विद्युत विसर्ग प्रवाहित करने के प्रयोग किए। थामसन ने प्रदर्शित किया कि विरल दाब पर गैसों में विद्युत प्रवाहित करने पर कैथोड से निकलने वाली कैथोड किरणें इलेक्ट्रानों की पुंज होती हैं। प्रयोगों के फलस्वरूप वे इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि समस्त तत्वों में बहुत हल्के और ऋण वैद्युत आवेशित कण उपस्थित हैं जिन्हें इलेक्ट्रॉन का नाम दिया गया। थामसन ने अपने प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध किया कि इन इलेक्ट्रॉनों का भार हाइड्रोजन के परमाणुओं के भार का लगभग 1/1836 भाग होता है। अम्बर की छड़ों पर घर्षण द्वारा विद्युत आवेश उत्पन्न होता है। यूनानी भाषा में अम्बर (Amber) को इलेक्ट्रॉन कहते हैं। अतएव इन कणों का

नाम भी '**इलेक्ट्रॉन**' रखा गया। थामसन ने अपनी इस खोज की घोषणा करते हुए कहा था कि उन्होंने एक ऐसे कण की खोज की है, जो हाइड्रोजन के लगभग एक हजारवें भाग से भी अधिक हल्का है और ऋण वैद्युत आवेशित है। उस समय थामसन ने यह कभी भी नहीं सोचा था कि उन्होंने एक ऐसे कण का आविष्कार किया है जो भविष्य में इलेक्ट्रानिक इंजीनियरिंग के क्षेत्र को प्रशस्त करके उसे नया आयाम और नई दिशाएं देगा। इन प्रयोगों से स्पष्ट हो गया कि तत्वों के परमाणुओं में दो प्रकार के कण होते है - (1) **इलेक्ट्रॉन**, जिन पर ऋणावेश होता है तथा (2) **धनाविष्ट अवशेष**, जिसका भार परमाणु के भार के लगभग समान होता है। उदाहरण के लिए आज हम जानते हैं कि हाइड्रोजन परमाणु में एक इलेक्ट्रॉन होता है और इसके मध्य में एक हाइड्रोजन परमाणु के भार वाला धनावेशित कण होता है, जिसे **प्रोटान** (Proton) का नाम दिया गया है। 'प्रोटान' शब्द का अर्थ ग्रीक भाषा में 'प्रथम' होता है। आवर्त सारिणी में हाइड्रोजन का स्थान प्रथम है और इलेक्ट्रान रहित हाइड्रोजन ही प्रोटान है। अतएव धनाविष्ट अवशेष का नाम प्रोटान रखा गया। इसी प्रकार हीलियम परमाणु के नाभिक पर दो धनावेश होते हैं और उसे ऐल्फाकण (α-Particles) कहते हैं क्योंकि रेडियोऐक्टिव (Radioactive) तत्वों से हीलियम के केन्द्र अति तीव्र गति से निकलते रहते हैं।

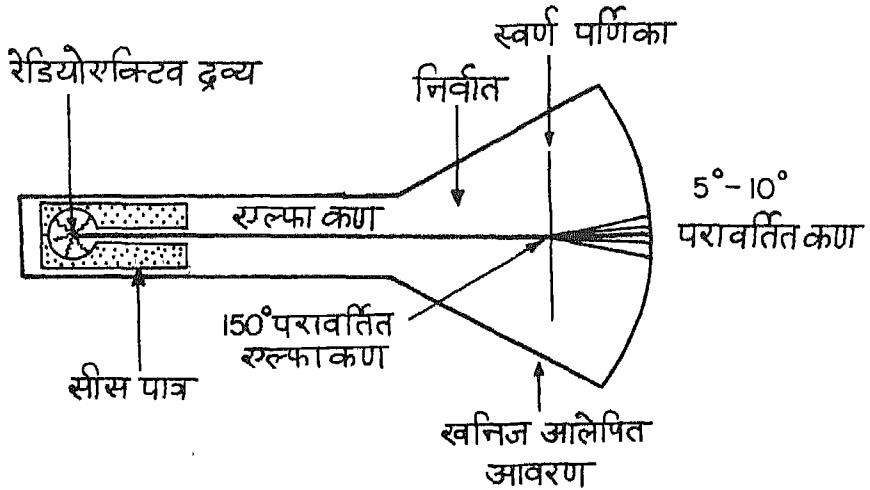
परमाणुओं के नाभिक (Nucleus):

सर जे० जे० थामसन के पास न्यूजीलैंड से अध्ययन के लिए एक मेधावी छात्र आया, जिसका नाम अर्नेस्ट रदरफोर्ड था। अपनी मां को लिखे गए पत्र में उन्होंने थामसन के विषय में लिखा था कि मेरे प्रोफेसर वृद्ध तो हैं, किन्तु जरा भी सठियाए नहीं हैं, हजामत ठीक से नहीं बनाते और बड़े-बड़े बाल रखे हुए हैं। परमाणु नाभिक पर अपना अध्ययन प्रारम्भ करते हुए उन्होंने देखा कि यदि तीव्र गति वाले ऐल्फा कण किसी पदार्थ पर डाले जाएं तो उनमें

	IA	IIA	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	VIII	VIII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
1	H 1																H 1	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	Ac 89	Ku 104	Ha 105													

6	लेन्थेनाइड श्रेणी →	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
7	ऐक्टिनाइड श्रेणी →	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

चित्र-1 आवर्त्त सारिणी

से अधिकतर कण बिना अपने मार्ग पर विचलित हुए सीधे निकल जाते हैं, अथवा उनके मार्ग में थोड़ा सा ही विचलन आता है। किन्तु कुछ ऐल्फा कण अधिक विचलन प्रदर्शित करते हैं, यहां तक कि कुछ कण उसी दिशा में परावर्तित होकर वापस चलते आते हैं, जिधर से वे आए थे।

चित्र-2 रदरफोर्ड प्रकीर्णन

ऐल्फा कणों पर धनावेश होता है। इससे स्पष्ट है कि ये कण तभी परावर्तित होंगे जब उनके मार्ग में अन्य धनावेश वाला कण आएगा। यह प्रयोग रदरफोर्ड ने 1911 में सोने की पतली चद्दर पर किया और ऐल्फा कणों की विचलन की मात्रा से उन्होंने यह अनुमान लगाया कि स्वर्ण परमाणुओं पर लगभग 79-80 प्रोटानों के बराबर धनावेश है। यह समस्त धनावेश लगभग 10^{-13} से.मी. व्यास के ठोस पिंड पर स्थित है। यदि परमाणुओं का

व्यास लगभग 10^{-8} से.मी. मान लिया जाए, तो परमाणुओं का खोखलापन स्पष्ट हो जाता है। यदि एक परमाणु के बाह्य आकार को एक ऐसे बड़े कक्ष के बराबर मानें, जिसकी लम्बाई, चौड़ाई और ऊंचाई दस-दस मीटर है तो उसके नाभिक का परिमाण लगभग 1/10 मिलीमीटर के बराबर होगा।

इस प्रकार रदरफोर्ड अपने प्रयोगों से इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि परमाणुओं के नाभिकों पर अति सूक्ष्म धनाविष्ट पिंड होता है। परमाणु वैद्युत दृष्टिकोण से उदासीन होते हैं। इसलिए केन्द्र पर धनावेश की मात्रा के बराबर संख्या में इलेक्ट्रॉन भी नाभिक के आसपास अवश्य होंगे। यदि ये इलेक्ट्रान स्थिर होते, तो धनाविष्ट नाभिक की ओर आकर्षित होकर उससे मिल जाते।

अतः यह कल्पना की गई है कि ये इलेक्ट्रान नाभिक के चारों ओर चक्कर लगाया करते हैं। बोर (Bohr) नामक वैज्ञानिक ने सन् 1913 में यह कल्पना की कि परमाणु के स्थायित्व के लिए यह आवश्यक है कि चक्कर लगाने के कारण इलेक्ट्रान पर केन्द्रोत्सारी (Centrifugal) बल, प्रोटान तथा इलेक्ट्रान के मध्य आकर्षण बल के बराबर हो। गणनाओं द्वारा यह निकाला जा सकता है कि इस गोलाकार कक्षा का व्यास लगभग 10^{-18} से.मी. तथा इलेक्ट्रान की गति लगभग 2×10^{8} से.मी. प्रति सैकण्ड होगी।

परमाणु संरचना के विषय में बोर के विचार

सन् 1913 में बोर ने इस ओर संकेत किया कि रदरफोर्ड द्वारा कल्पित परमाणु अस्थायी होगा। गति विज्ञान (Dynamics) के सिद्धान्तों के अनुसार नाभिक के चारों ओर परिक्रमा करने वाले इलेक्ट्रान क्रमशः ऊर्जा क्षेपित करेंगे और फलतः उनकी परिधि का व्यास कम होता जायेगा और

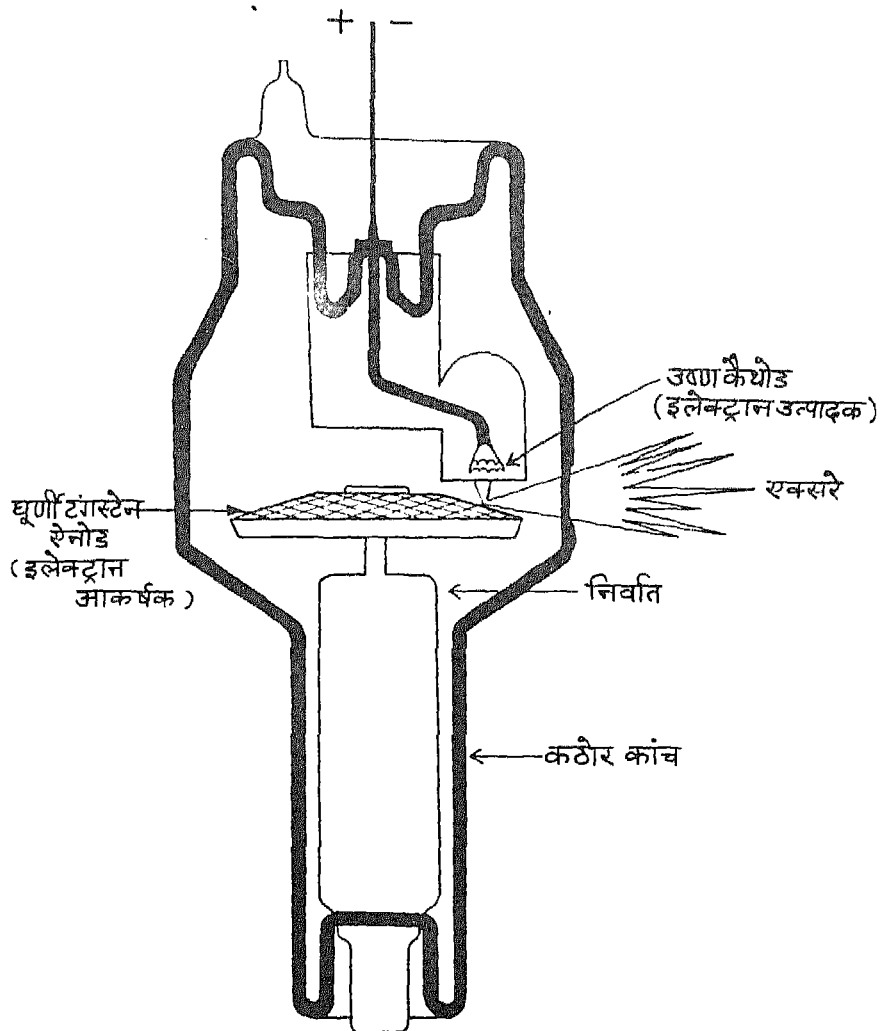
अन्त में ये इलेक्ट्रॉन केन्द्रक पर उपस्थित धनावेश से उदासीन हो जाएंगे। वैज्ञानिक बोर ने उपर्युक्त कठिनाई का समाधान इस कल्पना से किया कि इलेक्ट्रान सतत रूप से ऊर्जा क्षेपित या शोषित नहीं करते वरन् क्वान्टमवाद (Quantum theory) के अनुसार ऊर्जा का क्षेपण या शोषण निश्चित मात्रा से ही होना सम्भव है। इस प्रकार वैज्ञानिक बोर ने यह कल्पना की कि जब इलेक्ट्रान कुछ विशिष्ट व्यास वाली कक्षों (Orbits) में केन्द्र के चारों ओर परिक्रमा करते हैं तो इस अवस्था में उनसे ऊर्जा का क्षेपण या शोषण नहीं होता, इन कक्षों को विकिरणरहित (Radiationless) कहा गया है। इनमें से प्रत्येक कक्ष के लिए एक विशिष्ट ऊर्जा तत्व होता है और जब इलेक्ट्रान एक विकिरण रहित कक्ष से किसी दूसरे इसी प्रकार के कक्ष को जाते हैं तो इन दोनों कक्षों की ऊर्जा के अन्तर के बराबर ऊर्जा का क्षेपण या शोषण होता है। उदाहरण के लिए जब इलेक्ट्रान किसी दूरी वाले कक्ष से निकट वाले कक्ष में आता है तो ऊर्जा का क्षेपण होता है और इन दोनों कक्षों की ऊर्जा के अन्तर के बराबर ऊर्जा क्षेपित होती है। यह क्षेपण वर्णक्रम (Spectrum) में एक रेखा के रूप में होता है जिसकी आवृत्ति (Frequency) का मान ऐसा होता है कि प्लांक का नियतांक (Planck constant) $h \times \vartheta$=बाहर वाले कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा – अन्दर वाले कक्ष में इलेक्ट्रॉन की ऊर्जा।

चाहें तो रदरफोर्ड तथा बोर द्वारा कल्पित परमाणु की समता सौर मंडल से कर सकते हैं। नाभिक के चारों ओर घूमने वाले इलेक्ट्रानों को इसी प्रकार नक्षत्रीय (Planetary) इलेक्ट्रॉन भी कहते हैं। कुछ समय के बाद वैज्ञानिक सोमरफेल्ड (Sommerfeld) ने यह प्रदर्शित किया कि इलेक्ट्रॉन केवल गोलाकार कक्षों में ही नहीं घूमते वरन् उनके कक्ष दीर्घ वृताकार (Elliptical) भी हो सकते हैं।

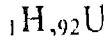
परमाणु संख्या (Atomic Number):
उपर्युक्त विवेचन से यह स्पष्ट हो गया होगा कि परमाणुओं के नाभिक पर धनावेश होता है और इस धनावेश की मात्रा के बराबर संख्या में इलेक्ट्रान नाभिक के चारों ओर चक्कर लगाते रहते हैं। इस धनावेश की मात्रा का अनुमान सर्वप्रथम मोसले (Moseley) नामक एक तरुण ब्रिटिश वैज्ञानिक ने लगाया था। मोसले ने प्रदर्शित किया कि जब कैथोड किरणें किसी धातु या अन्य तत्व पर आघात करती हैं तो उनसे रांटगेन (Rontgen) या एक्स किरणें (X-rays) निकलती हैं।

नापने पर ज्ञात हुआ है कि इन एक्स किरणों का तरंग- दैर्ध्य (Wavelengths) भिन्न-भिन्न तत्वों के लिए पृथक-पृथक है। कैथोड किरणें ऐल्युमिनियम पर आघात करके जो राँटगेन किरणें देंगी, उनका तरंग-दैर्ध्य उनसे भिन्न होगा जो लोहे, ताँबे या निकेल से प्राप्त एक्स किरणों का होगा। मोसले ने प्रदर्शित किया कि किसी भी धातु से प्राप्त सबसे कम तरंग-दैर्ध्य वाली किरणों की आवृत्ति (Frequency) निम्नलिखित सम्बन्ध से स्पष्ट की जा सकती है:

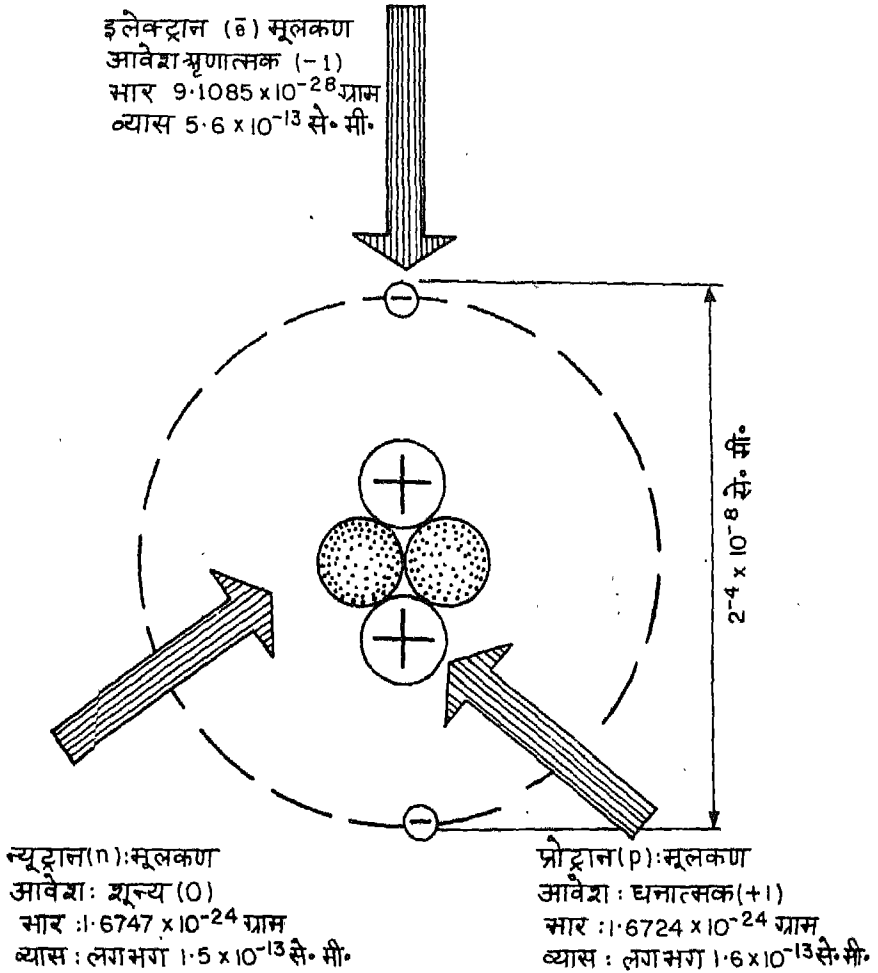
(प्राप्त एक्स किरणों की आवृति)$^{1/2}$=नियतांक$_1$ (तत्व की परमाणु संख्या – नियतांक$_2$)

स्पष्ट है कि मोसले की उपर्युक्त विधि से किसी भी तत्व की परमाणु संख्या निकाली जा सकती है। हम पिछले अध्याय में कह चुके हैं कि तत्वों की यह परमाणु संख्या उनकी क्रमिक संख्या के बराबर होती है जो आवर्त तालिका में उस तत्व के स्थान की संख्या को प्रदर्शित करती है। इस प्रकार आवर्त तालिका के सबसे हल्के तत्व हाइड्रोजन की परमाणु संख्या 1 आती है

चित्र-3 एक्सरे उत्पादन

और सबसे भारी तत्व की परमाणु संख्या 92 है। तत्वों की परमाणु संख्या को निम्न प्रकार से व्यक्त किया जाता है :

$_{1}H, _{92}U$

परमाणुओं के नाभिकों की रचना :

सबसे हल्के तत्व हाइड्रोजन के नाभिक पर आवेश +1 होता है और उसका परमाणु भार भी इकाई माना जाता है। अतएव प्रथम तत्व हाइड्रोजन के नाभिक को **प्रोटान** (यूनानी भाषा में प्रथम) का नाम दिया गया। अब दूसरा तत्व हीलियम लें, तो इसके नाभिक में इसकी परमाणु संख्या के बराबर दो प्रोटान होंगे और दो नक्षत्रीय इलेक्ट्रान नाभिक का चक्कर लगाते होंगे। प्रोटान की तुलना में इलेक्ट्रान का भार नगण्य होता है। साधारण हीलियम के परमाणुओं का भार चार इकाई के बराबर होता है अतएव हीलियम के नाभिक में दो प्रोटानों के अतिरिक्त दो न्यूट्रानों की भी उपस्थिति मानी जाती है। न्यूट्रान के बारे में आगे बताया गया है।

ब्रिटिश वैज्ञानिक सर जेम्स चाडविक (James Chadwick) ने बेरिलियम धातु पर ऐल्फा कणों का प्रहार करके यह देखा कि बेरिलियम से एक ऐसा कण निकलता है जो समीप रखे गए हाइड्रोकार्बन मोम से प्रोटान बाहर निकाल देता है। गणना करके उन्होंने यह दिखलाया कि ऐल्फाकणों के प्रहार से एक आवेशविहीन और प्रोटान के भार के बराबर का कण निकलता है। इसका नाम **न्यूट्रान** रखा गया। इस कण से परमाणु रचना को ही समझने में सहायता नहीं मिली वरन् न्यूट्रान के द्वारा आगे चल कर ऊर्जा का असीम भंडार खोलने का मार्ग प्रशस्त हो गया। न्यूट्रान और प्रोट्रान के आधार पर कुछ तत्वों के परमाणुओं की रचना को निम्नलिखित सारणी में प्रदर्शित किया गया है।

चित्र-4 हिलियम की संरचना

सारणी-1

तत्व	परमाणु संख्या 'स'	नक्षत्रीय इलेक्ट्रॉन स	परमाणु भार 'भ'	परमाणु नाभिक प्रोट्रान 'स'	परमाणु नाभिक न्यूट्रान भ—स
हाइड्रोजन	1	1	1.008	1	0
हीलियम	2	2	4.003	2	2
लीथियम	3	3	6.94	3	4
कार्बन	6	6	12.01	6	6
नाइट्रोजन	7	7	14.0	7	7
आक्सीजन	8	8	16.0	8	8
सोडियम	11	11	22.99	11	12
आयरन	26	26	55.85	26	30
सिलवर	47	47	107.87	47	61
रेडियम	88	88	222.6	88	135
यूरेनियम	92	92	238.03	92	146

परमाणुओं का इलेक्ट्रान विन्यास (Arrangement):

उपर्युक्त विवेचन से स्पष्ट हो गया कि किसी भी तत्व के परमाणु में नक्षत्रीय इलेक्ट्रान तथा उसके नाभिक में उपस्थित प्रोटान उसकी परमाणु संख्या के बराबर होते हैं और परमाणु का भार पूरा करने के लिए पर्याप्त संख्या में न्यूट्रान नाभिक में उपस्थित रहते हैं। आप यह भी पढ़ चुके हैं कि किसी भी तत्व की परमाणु संख्या आवर्त्त तालिका में उपस्थित उसकी

क्रमिक संख्या के बराबर होती है। क्रमशः वैज्ञानिक इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि तत्वों के रासायनिक गुण तथा उनके द्वारा प्रदर्शित वर्णक्रम (Spectrum) तत्व की परमाणु संख्या या उसके परमाणु में उपस्थित नक्षत्रीय इलेक्ट्रानों के कारण होते हैं। तत्वों के रासायनिक गुणों की आवृत्ति को समझने के लिए उन्होंने यह कल्पना की कि ये नक्षत्रीय इलेक्ट्रान विभिन्न ऊर्जा वाली परिधियों में विभाजित होते हैं। उदाहरण के लिए विभिन्न तत्वों के रासायनिक गुणों तथा उनके वर्णक्रमों के गुणों से वैज्ञानिक इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि प्रत्येक कोश में एक निश्चित संख्या से अधिक इलेक्ट्रान नहीं रह सकते। इस प्रकार उन्होंने प्रदर्शित किया कि प्रथम, द्वितीय, तृतीय तथा चतुर्थ कोश में उपस्थित इलेक्ट्रानों की संख्या क्रमशः 2,8,18 तथा 32 होती है। इसके अतिरिक्त इस सम्बन्ध में उन्होंने एक निष्कर्ष और निकाला कि किसी स्वतन्त्र परमाणु के बाह्यतम कक्ष में 8से अधिक इलेक्ट्रान नहीं हो सकते।

उपर्युक्त विवेचन से कुछ तत्वों के इलेक्ट्रॉन-विन्यास का चित्रण किया जा सकता है। हाइड्रोजन तथा हीलियम के परमाणुओं में प्रथम परिधि ही में क्रमशः 1 तथा 2 इलेक्ट्रॉन होंगे, परन्तु परमाणु संख्या 3 वाले लीथियम के परमाणु में इलेक्ट्रॉन दो परिधियों में होंगे और इनमें पहली में 2 तथा दूसरी में 1 इलेक्ट्रॉन उपस्थित होंगे। कार्बन ($_6C$), नाइट्रोजन ($_7N$), आक्सीजन ($_8O$), नीऑन ($_{10}Ne$) के परमाणुओं के प्रथम कोश में तो सब में 2 इलेक्ट्रॉन होंगे, परन्तु दूसरे में क्रमशः 4,5,6 तथा 8 इलेक्ट्रॉन होंगे। नीऑन तक पहुंचते-पहुंचते दूसरे कोश में यह संख्या आठ तक पहुंच जाती है जो उसकी अधिकतम संख्या है। इसलिए अगले तत्व सोडियम ($_{11}Na$) का इलेक्ट्रॉन विन्यास 2,8,1 होगा और आवर्त्त तालिका की इस आवृत्ति के तत्वों $_{12}Mg$, $_{13}Al$, $_{14}Si$, $_{15}P$, $_{16}S$, $_{17}Cl$, $_{18}Ar$ के परमाणुओं के तीसरे कोश में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या क्रमशः 2,3,4,5,6,7 तथा 8 हो

जाएगी। आर्गन ($_{18}Ar$) के बाद आने वाले तत्व पोटेशियम ($_{19}K$) का उन्नीसवां इलेक्ट्रॉन तीसरे कोश में नहीं रह सकता क्योंकि ऐसा करने से अन्तिम कोश में आठ (8) से अधिक नौ (9) इलेक्ट्रॉन हो जाएंगे। इसलिए पोटैशियम ($_{19}K$) तथा कैल्सियम ($_{20}Ca$) के इलेक्ट्रॉन विन्यास क्रमशः 2,8,8,1 तथा 2,8,8,2 माने गए हैं।

उपर्युक्त चित्रण से स्पष्ट है कि आवर्त्त तालिका के प्रथम समूह के तत्वों के अन्तिम कोश में एक एक इलेक्ट्रॉन है और इसलिए इनके गुणों की समानता (जैसे सबकी संयोजकता 1 है) समझ में आ जाती है। इसी प्रकार चतुर्थ समूह वाले तत्वों कार्बन तथा सिलिकन के अन्तिम कोश में चार-चार इलेक्ट्रॉन हैं और निष्क्रिय गैसों के अन्तिम कोश में आठ-आठ इलेक्ट्रॉन हैं (केवल हीलियम को छोड़ कर, जिसके पहले कोश में दो ही इलेक्ट्रॉन होते हैं)।

यदि दी गई आवर्त्त तालिका को देखा जाए तो कैल्सियम से आगे आने वाले 10 तत्व **संक्रमण तत्व** कहलाते हैं। इनमें इलेक्ट्रॉन अन्तिम कोश में न जाकर, अन्तिम से पहले के एक कक्ष में जाते हैं और इस प्रकार इस संक्रमण श्रंखला के प्रथम तथा अन्तिम तत्वों का इलेक्ट्रॉन विन्यास निम्नवत होगा:

स्कैन्डियम ($_{21}Sc$)	2, 8, 9, 2
ज़िंक ($_{30}Zn$)	2, 8, 18, 2

इस प्रकार जिंक तक पहुंचते पहुंचते तीसरे कक्ष में भी अधिकतम इलेक्ट्रॉन (18) हो जाते हैं और इसके आगे आने वाले तत्वों, गैलियम ($_{31}Ga$), जर्मेनियम ($_{32}Ge$), आर्सेनिक ($_{33}As$) सेलेनियम ($_{34}Se$), ब्रोमीन ($_{35}Br$) और क्रिप्टॉन ($_{36}Kr$) के अन्तिम कक्षों में एक एक इलेक्ट्रॉन बढ़ता

जाता है और इस प्रकार क्रिप्टॉन का इलेक्ट्रॉन विन्यास अन्य निष्क्रिय गैसों के सदृश्य 2,8,18,8 हो जाता है।

क्रिप्टॉन के बाद आवर्त्त तालिका में 18 तत्वों की अगली दीर्घ आवृत्ति रुबिडियम ($_{37}Rb$) से आरम्भ होकर जीनॉन ($_{54}Xe$) पर समाप्त हो जाती है और इन तत्वों के इलेक्ट्रॉन विन्यास इसके पहले की प्रथम दीर्घ आवृत्ति के तत्वों ($_{19}K$ से $_{36}Kr$) के ही समान है। उदाहरण के लिए जीनॉन ($_{54}Xe$) का इलेक्ट्रॉन विन्यास 2,8,18,18,8 है।

जीनॉन के बाद आने वाले तत्वों सीजियम ($_{55}Cs$) तथा बेरियम ($_{56}Ba$) का इलेक्ट्रॉन विन्यास क्रमशः 2,8,18,18,8,1 तथा 2,8,18,18,8,2 है और लैन्थानम ($_{57}La$) का स्कैन्डियम ($_{21}Sc$) के सदृश इलेक्ट्रॉन विन्यास 2,8,18,18,9,2 हैं। लैन्थानम के बाद सीरियम ($_{58}Ce$) से **पहली आन्तरिक संक्रमण श्रंखला** आरम्भ होती है जिसके 14 तत्व सदस्य हैं और जिसके तत्वों में इलेक्ट्रॉन अन्तिम दो कोशों को छोड़कर बाहर से तीसरे कोश में जाता है। श्रंखृला के ये 14 तत्व अपने अन्तिम दो कोशों में इलेक्ट्रॉन विन्यास की एकरूपता के कारण गुणों में बहुत समानता प्रदर्शित करते हैं और इनके प्रथम तथा अन्तिम सदस्यों ($_{58}Ce$, $_{71}Lu$) का इलेक्ट्रॉन-विन्यास निम्नलिखित है –

सीरियम ($_{58}Ce$) 2, 8, 18, 19, 9, 2
लुटेशियम ($_{71}Lu$) 2, 8, 18, 32, 9, 2

लुटेशियम पर चौथी कक्षा संतृप्त हो जाती है और इसलिए इसके बाद इलेक्ट्रॉन पांचवें कोश में भरने लगता है।

सन् 1940 से जो **कृत्रिम यूरेनियमोत्तर तत्वों** की गवेषणा हुई है उनके गुणों को देखते हुए उनको **द्वितीय आन्तरिक संक्रमण श्रृंखला** का सदस्य माना गया है जिनके इलेक्ट्रॉन विन्यास में अन्तिम दो को छोड़ कर तीसरे कोश में इलेक्ट्रॉन भरने लगते हैं। पृष्ठ 32 पर दी गई आवर्त्त तालिका

में तत्वों का परमाणु विन्यास प्रदर्शित करने का प्रयत्न किया गया है। हाइड्रोजन (^1_1H) से क्रिप्टॉन ($_{36}Kr$) तक पूरा इलेक्ट्रॉन विन्यास दिया गया है, उसके बाद वाले तत्वों के अन्तिम दो कोशों में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों की संख्या ही प्रदर्शित की गई है। दोनों आन्तरिक संक्रमण श्रृंखलाओं के सदस्यों के केवल तीन अन्तिम कोशों की संरचना दिखलाई गई है क्योंकि इनमें से बाहर से तीसरे कोशों में अन्तर आता जाता है। तत्वों के इलेक्ट्रॉन विन्यास को ध्यान से देखने पर आवर्त्त तालिका में तत्व के स्थान और उसके इलेक्ट्रॉन-विन्यास का निकट का सम्बन्ध स्पष्ट हो जाता है।

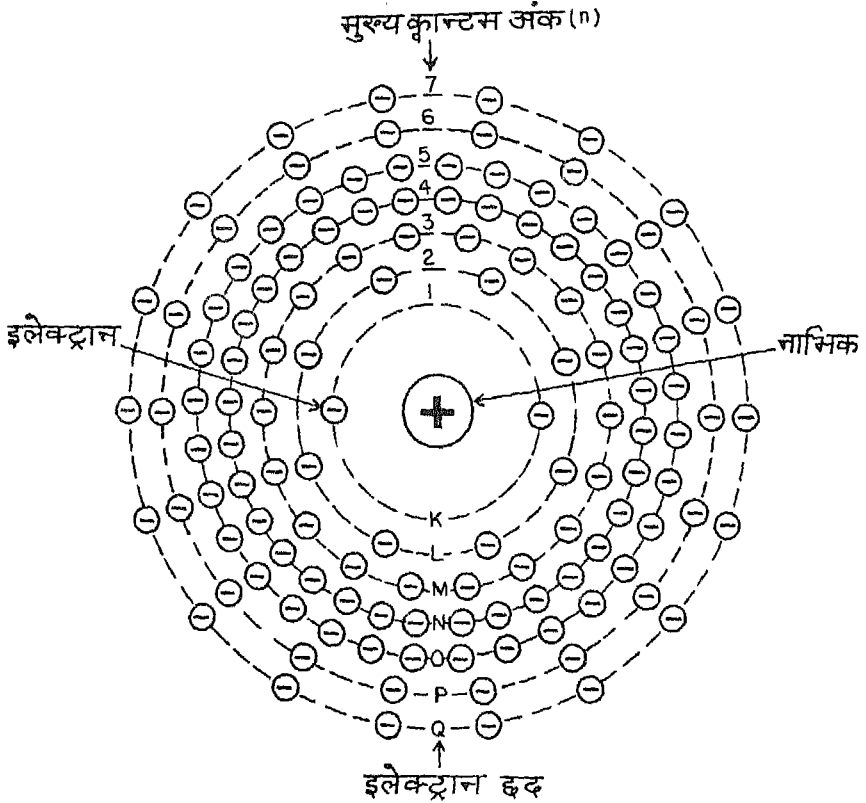
आंतरिक संक्रमण तत्वों के इलेक्ट्रॉन-विन्यास की विशेषताएं:

प्रत्येक तत्व के नाभिक के बाहर पाए जाने वाले इलेक्ट्रॉनों को क्वांटम संख्याओं द्वारा प्रदर्शित करते हैं। इलेक्ट्रॉनीय विन्यास के लिए उपयोग में आने वाली मुख्य क्वांटम संख्याएं 1,2,3,4,5,6 और 7 हैं। इनसे अभिप्राय: क्रमश: उन कोशों से है, जिनमें इलेक्ट्रॉनों की एक निश्चित संख्या पाई जाती है। प्रत्येक कोश को एक या अनेक उपकोशों में विभाजित किया गया है। इन उपकोशों को अंग्रेजी भाषा के वर्ण s,p, d, f, और g से प्रदर्शित किया जाता है। उपकोशों का यह विभाजन इलेक्ट्रॉनीय वर्णक्रम के आधार पर किया गया है। भौतिक रूप में किसी कोश में पाए जाने वाले इलेक्ट्रॉनों के मिलने की सम्भावनाओं को इन उपकोशों द्वारा व्यक्त किया जाता है। प्रथम कोश में केवल एस (s) इलेक्ट्रॉन पाए जाते हैं। दूसरे में s और p, तीसरे में s,p और d और चौथे में s,p,d और f इलेक्टॉन पाए जाते हैं। इन वर्णों के पहले कोश की क्वांटम संख्या और इनके ऊपर इन उपकोशों में पाए जाने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या लिखी जाती है।

नवीन तत्वों की रचना के लिए नाभिकों के भीतर प्रोटॉनों की संख्या बढ़ानी पड़ती है। जितने प्रोटॉन नाभिक में पाए जाते हैं उतने ही इलेक्ट्रॉन

बाह्य कोशों में स्थान ले लेते हैं। जैसे-जैसे तत्वों की परमाणु संख्या बढ़ती जाती है वैसे वैसे ही इलेक्ट्रॉन रिक्त कोशों में स्थान ग्रहण करते जाते हैं, किन्तु अनेक तत्वों की यह विशेषता है कि इलेक्ट्रॉन बाह्य कोशों में प्रवेश करते हैं जबकि आन्तरिक एक या दो कोश रिक्त पड़े रहते हैं। इस विधि से जब इलेक्ट्रॉन कोशों में प्रवेश करते हैं तो **संक्रमण तत्व** बनते हैं। उदाहरण के लिए संक्रमण तत्वों के प्रथम समूह को लीजिए। इस समूह के तत्वों में जब 4s उपकोश इलेक्ट्रॉनों से भर जाते हैं तब 3d उपकोश में इलेक्ट्रॉनों का भरना प्रारम्भ होता है।

लैंथनम समूह में पाए जाने वाले तत्वों के 5s,5p तथा 6s उपकोश पहले ही इलेक्ट्रॉनों से भर जाते हैं। इसके उपरान्त 4f उपकोश में इलेक्ट्रॉनों का भरना प्रारम्भ होता है। इसलिए लैंथनम समूह के तत्वों को **आन्तरिक संक्रमण तत्व** कहते हैं। लैंथनम समूह की ही तरह, ऐक्टीनियम समूह के तत्व एक दूसरे प्रकार के आंतरिक संक्रमण तत्व हैं। इन तत्वों में 6s , 6pतथा 7sइलेक्ट्रॉन पहले भर जाते हैं। इन उपकोशों के भर जाने पर 5f उपकोश में इलेक्ट्रॉनों का भरना प्रारम्भ होता है। धातुओं की इस नवीन श्रृंखला के प्रारम्भ में उपलब्ध कुछ तत्वों की यह विशेषता है कि 6s उपकोश में भी इलेक्ट्रॉन प्रवेश करते हैं क्योंकि 6d तथा 5f उपकोशों की ऊर्जा लगभग समान होती है।

लैंथनम समूह के तत्वों का प्रारम्भ सीरियम (58) से होता है, और लुटेसियम (71) तक पहुंचने पर यह श्रृंखला समाप्त हो जाती है। इस समूह के तत्वों के 4f उपकोश में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या चौदह होती है। इसी प्रकार ऐक्टीनियम समूह के 5f उपकोश में इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या चौदह ही होती है। इस समूह के 5f इलेक्ट्रॉनों का प्रारम्भ थोरियम ($_{90}Th$) से और अंत लारेंसियम (103) से होता है।

चित्र-5 नाभिक के बाहर इलेक्ट्रॉनों का विन्यास

इस बात की विशेष संभावना है कि लारेंसियम से आगे बनने वाले तत्वों में इलेक्ट्रॉनों का प्रवेश 6d उपकोश में होगा। जब 6d उपकोश भर

जायेंगे तब इलेक्ट्रॉन 7p उपकोश में प्रवेश करने लगेंगे। इस प्रकार यदि तत्व 118 बन सका तो इसके इलेक्ट्रॉनों का विन्यास विरल गैसों के समान होगा। यह भी अनुमान लगाया गया है कि इस तत्व के निकट इलेक्ट्रॉनों का प्रवेश 5g उपकोश में होने लगेगा। इस लिए इस क्षेत्र में एक नवीन प्रकार के अठारह आंतरिक संक्रमण तत्वों के बनने की सम्भावना है।

3

रेडियोऐक्टिवता

प्रारम्भिक खोज :

जर्मनी के एक प्रसिद्ध विद्वान रूंटजेन (Rontgen) ने कैथोड किरणों की नली का अध्ययन करते समय अपने यंत्र को काले मोटे कागज से ढक दिया और उस कक्ष को जिसमें यह यंत्र रखा था, बिल्कुल अंधेरा कर दिया। फिर भी कक्ष की दूसरी ओर रखा हुआ बेरियम प्लेटिनोसायनाइड लवण चमकने लगा। उन्होंने यह भी देखा कि यह विकिरण धातु के पतले टुकड़ों में से निकल कर बाहर आ जाता था। यह खोज 1895 में हुई और इस विकिरण का नाम एक्सरे रखा गया। चिकित्सा तथा विज्ञान के क्षेत्र में एक्सरे की अकथनीय उपलब्धियों से मानवता को जो लाभ मिला, उसका कोई भी फायदा रूंटजेन को नहीं मिला। वह बेचारा संघर्षों में बड़ा हुआ और ग़रीबी में मरा।

इसी प्रकार चमकदार स्फुरण (luminescence) का अध्ययन फ्रांस के एक विद्वान आंत्वां हेनरी बेकरल (Antoine Henry Becquerel) ने भी प्रारम्भ किया था बेकरल के पितामह जाँ बेकरल (Jean Becquerel) और पिता एदमंद् बेकरल (Edmund Becquerel) भौतिकी के विद्वान

थे। वंश-परम्परा को आगे बढ़ाने का श्रेय हेनरी बेकरल को है। वह पोटैशियम यूरेनल सल्फेट ($K_2UO_2(SO_4,)2.2H_2O$) में स्फुरण का अध्ययन कर रहे थे। इस लवण को सूर्य के प्रकाश में रखने के उपरान्त उसे धातु के एक पतले टुकड़े में लपेटकर एक अंधेरे कक्ष में रख दिया, जहां निकट ही फोटोग्राफी की प्लेटें रखी थीं। डेवलप करने पर यह पता चला कि बन्द फोटोग्राफी की प्लेटें काली पड़ गई हैं। 24 फरवरी 1896 को बेकरल ने यह विचार किया कि यूरेनियम लवण पर सूर्य के प्रकाश पड़ने पर जो स्फुरण निकला, उसी के प्रभाव से फोटोग्राफी की प्लेटें काली पड़ गईं। उसने यह सोचा कि फिर से यूरेनियम लवण को सूर्य के प्रकाश में रखकर यह प्रक्रिया दोहराई जाय। फरवरी में पेरिस में बूंदाबांदी के कारण सूर्य का प्रकाश न मिल पाया। उत्कंठावश बेकरल ने यूरेनियम लवण को सूर्य के प्रकाश में न रखकर उसे फोटोग्राफी की प्लेटों पर रख दिया। डेवलप करने पर प्लेट फिर काली पड़ गई। यूरेनियम लवण तथा बन्द फोटोग्राफी की प्लेटें एक पेटी में रखने पर वही परिणाम निकला। इस प्रकार बेकरल ने यह निष्कर्ष निकाला कि यूरेनियम लवण से निकले एक विशेष विकिरण के प्रभाव से फोटोग्राफी की प्लेटें काली पड़ गईं। बेकरल ने अपने प्रयोगों द्वारा यह भी प्रदर्शित किया कि ये किरणें ठोस पदार्थों के आर पार चली जाती हैं, और गैसों के अणुओं को आयतित कर देती हैं तथा विलेमाइट (Willemite) जैसे परदों पर गिरकर चमकदार स्फुरण पैदा करती है। मैडम क्यूरी तथा उनके पति पियरे क्यूरी ने इस गुण को **रेडियोऐक्टिवता** (Radioactivity) का नाम दिया। बेकरल की इस खोज से प्रभावित होकर मेरी क्यूरी (Marie Curie) और उसके पति पियरे क्यूरी (PierreCurie) ने यह पता लगाया कि यूरेनियम लवण की अपेक्षा पिचब्लेंड नामक खनिज बहुत अधिक विकिरण देता है। उस समय इस खनिज पदार्थ का कोई मूल्य नहीं था। यह चेकोस्लोवाकिया की खानों में पाया जाता था। क्यूरी दम्पति ने खानों के

मालिकों से इस खनिज पदार्थ को खरीद लिया और पेरिस में अपने निवास स्थान के निकट ही एक साधारण से लकड़ी के शैड के नीचे इसे साफ करना प्रारम्भ किया। इन्हें न तो कोई आर्थिक सहायता मिल पाई और न ही इस कार्य में इनको पहले से अनुभव ही था। फिर भी अदम्य साहस के साथ इन लोगों ने अपना परीक्षण जारी रखा। 1898 में कई टन पिचब्लेंड में से लगभग 0.1 ग्राम पोलोनियम और रेडियम नामक तत्वों को अलग किया। अपनी मातृभूमि पोलैंड के नाम पर एक तत्व का नाम मैडम क्यूरी ने पोलोनियम(Polonium)) रखा और दूसरे तत्व का नाम रेडियम (Radium) रखा। विज्ञान के इतिहास में धैर्य, साहस, सन्तोष और आत्मविश्वास की यह एक महत्वपूर्ण घटना है, क्योंकि एक टन खनिज में से एक मिलीग्राम रेडियोऐक्टिव तत्व निकालना कितना दुष्कर तथा दुरुह कार्य रहा होगा।

इसी समय स्फुरण की खोज में रत कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय की केवेंडिश प्रयोगशाला के निदेशक सर जे०जे० थामसन ने कैथोड किरणों पर अध्ययन करके यह पता लगाया कि कैथोड किरणें अत्यन्त सूक्ष्म ऋणा वेशित कणों के समूह हैं। उन्होंने इस पर विद्युत आवेश तथा इसके भार का पता लगाकर इसका नाम **इलेक्ट्रॉन** रखा। इसे नवीन खोज बतलाते हुए उन्होंने कहा था कि मैंने एक ऐसे कण का पता लगाया है जिसका भार हाइड्रोजन से लगभग एक हजार गुणा कम है और इस पर ऋणा वेश पाया जाता है। थामसन ने स्वप्न में भी कभी यह न सोचा था कि वह एक ऐसे युग का शुभारम्भ कर रहे हैं जो इलेक्ट्रॉनिक अभियांत्रिकी के रूप में मानव जीवन के प्रत्येक क्षेत्र को आगे चलकर प्रभावित करेगा।

रेडियम की गवेषणा के उपरान्त शीघ्र ही यह आभास होने लगा कि रेडियोऐक्टिव तत्वों से निकली हुई किरणें सब एक प्रकार की नहीं होतीं। अरनेस्ट रदरफोर्ड ने सर जे०जे० थामसन के सम्पर्क में आने पर

रेडियोऐक्टिव विकिरण पर अध्ययन प्रारम्भ किया। उन्होंने इन किरणों पर चुम्बकीय क्षेत्रों का प्रभाव देखा। इससे वह इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि रेडियोऐक्टिव किरणें तीन प्रकार की होती हैं - ऐल्फा, बीटा, गामा।

(1.) ऐल्फा किरणें (α-rays)

ये धनाविष्ट होने के कारण अपने मार्ग से विचलित हो जाती हैं। इनके विचलन की मात्रा यह प्रदर्शित करती है कि इनके ऊपर प्रोटॉनों से दुगुना आवेश है और साथ ही इनका भार प्रोटॉनों का चौगुना है। हीलियम परमाणुओं का भार हाइड्रोजन परमाणुओं अथवा प्रोटॉनों से चौगुना होता है और इसके नाभिक पर दो प्रोटॉनों के बराबर धनावेश होता है। अतएव ये कण हीलियम परमाणुओं के नाभिक होते हैं। इस तथ्य की पुष्टि रदरफोर्ड ने की। उन्होंने एक नली में ऐल्फा कणों की पर्याप्त मात्रा एकत्र करके उनका स्पेक्ट्रम लिया और इस प्रकार सिद्ध किया कि इन कणों में तथा हीलियम के परमाणुओं के नाभिक में कुछ भी अन्तर नहीं है। ऐल्फा कणों को $^{4}_{2}He$ संकेत से प्रदर्शित किया जाता है।

(क) रेडियोऐक्टिव तत्वों से एल्फाकण बड़े वेग से निकलते हैं। इनकी गति लगभग 1.4×10^9 सेन्टीमीटर से 2.2×10^9 से०मी० प्रति सैकण्ड होती है। स्पष्ट है कि इन कणों की ऊर्जा बहुत उच्च कोटि की है। यदि इनकी ऊर्जा को एक अन्य पैमाने मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट (MeV) पर व्यक्त किया जाये तो इनकी ऊर्जा 4से 10 MeV तक होती है।

(ख) भार में अधिक होने के कारण इनकी भेदन शक्ति कम होती है और धातु की पतली चद्दरें इन्हें सोख लेने में सक्षम होती हैं। उदाहरण के लिए ये कण ऐल्यूमिनियम की 0.01 मि०मी० मोटी चद्दर को पार करके बाहर नहीं निकल पाते। साधारण दाब पर वायु में कुछ सेन्टीमीटरों तक ही इनकी गति सीमित रहती है।

(ग) अधिक वेग वाले ऐल्फाकण गैस के अणुओं से टकराने पर उनसे इलेक्ट्रान निकाल देते हैं। इस प्रकार यह कण जिस गैस में प्रविष्ट करते हैं उनके अणुओं पर धनावेश पैदा कर देते हैं अथवा उस गैस को आयनित कर देते हैं। इस गुण का उपयोग रदरफोर्ड के सहयोगी विद्यार्थी विल्सन ने ऐल्फा कणों का मार्ग देखने के लिए किया और इसके लिए एक उपकरण बनाया जो 'विल्सन अभ्र प्रकोष्ठ' (Wilson Cloud Chamber) कहलाता है। इसका सिद्धान्त यह है कि यदि नम हवा का ताप एकदम से नीचा किया जाए तो हवा में उपस्थित आवेशित कणों पर भाप द्रवीकृत होती है। इस प्रकार ऐल्फा कणों ने जिस मार्ग में वायु के अणुओं का आयनीकरण किया है वह प्रकट हो जाता है।

(घ) जिन्क सल्फाइड या बेरियम प्लेटिनो सायनाइड (विलेमाइट) के परदे पर गिरने पर प्रत्येक ऐल्फाकण चमकदार स्फुरण पैदा करता है। इस प्रकार इन कणों की गणना की जा सकती है।

(2) बीटा किरणें (β-rays):

वैद्युत अथवा चुम्बकीय क्षेत्रों में ये किरणें एल्फा कणों से विपरीत दिशा में बहुत अधिक मात्रा में विचलित हो जाती हैं। इस प्रकार के विचलन के मात्रात्मक अध्ययन से यह पता चलता हैं कि बीटा किरणें इलेक्ट्रानों का पुंज होती हैं। बीटा कणों के निम्न विशिष्ट गुण उल्लेखनीय हैं।

(क) बीटा कणों का वेग ऐल्फा कणों से अधिक होता है। इनकी गति साधारणत: 6×10^9 से लेकर 2.8×10^{10} सेन्टीमीटर प्रति सेकण्ड होती है।

(ख) सूक्ष्म भार तथा अधिक वेग के कारण इनकी भेदन शक्ति ऐल्फा कणों से अधिक होती है। इनको सोखने के लिए ऐल्यूमिनियम की एक सेंटीमीटर मोटी प्लेट की आवश्यकता होती है। ये किरणें हवा में भी

कई मीटरों तक प्रवेश कर सकती हैं।

(ग) यद्यपि इनका वेग ऐल्फा किरणों से अधिक होता है तथापि भार की कमी के कारण ये किरणें गैसों को ऐल्फा कणों के बराबर आयनीकृत नहीं कर पातीं। इसलिए 'विल्सन अभ्रकोष्ठ' में बीटा किरणों का मार्ग ऐल्फा किरणों.से कम गहरा तथा अधिक टेढ़ा-मेढ़ा होता है क्योंकि अपने हल्केपन के कारण ये गैसीय अणुओं की टक्करों से आसानी से अपने मार्ग से विचलित हो जाती हैं।

(घ) भार की सूक्ष्मता के कारण इनका विलेमाइट प्लेटों पर विशेष प्रभाव नहीं पड़ता, परन्तु फोटोग्राफी की प्लेटों पर बीटा किरणें अधिक प्रभावशाली होती हैं।

(3) गामा किरणें (γ-rays):

गामा किरणों पर वैद्युत या चुम्बकीय क्षेत्र का कोई प्रभाव नहीं पड़ता। इन क्षेत्रों में ये किरणें अपने मार्ग से अविचलित रहती हैं। अतएव स्पष्ट है कि इन किरणों पर न धनावेश होता है न ऋणावेश। ये किरणें आवेश रहित होती हैं। यथार्थतः ये किरणें प्रकाश या एक्स किरणों की भांति हैं किन्तु इनका तरंग-दैर्ध्य (Wave length) उनकी अपेक्षा बहुत कम होता है। उदाहरण के लिए साधारणतः प्रकाश की किरणों का तरंग-दैर्ध्य 4×10^5 से 8×10^5 सेन्टीमीटर होता है एक्स किरणों का तरंग-दैर्ध्य लगभग 1 से 10×10^8 सेंटीमीटर होता है। जबकि गामा किरणों का तरंग-दैर्ध्य एक्स किरणों के दसवें भाग से लेकर सौवें भाग के बराबर होता है। गामा किरणों के अन्य उल्लेखनीय गुण इस प्रकार है:

(क) गामा किरणें प्रकाश के वेग से (3×10^{10} सेंटीमीटर प्रति सैकेन्ड) चलती हैं। आवेशरहित होने के कारण उनकी भेदन शक्ति बहुत अधिक होती है। उदाहरण के लिए ये सीसे की आठ सेंटीमीटर मोटी चद्दरों के आरपार चली जाती हैं।

(ख) ये किरणें गैसों का बहुत कम आयनीकरण करती हैं।

(ग) विलेमाइट या फोटोग्राफी की प्लेटों पर इनका प्रभाव बहुत कम पड़ता है।

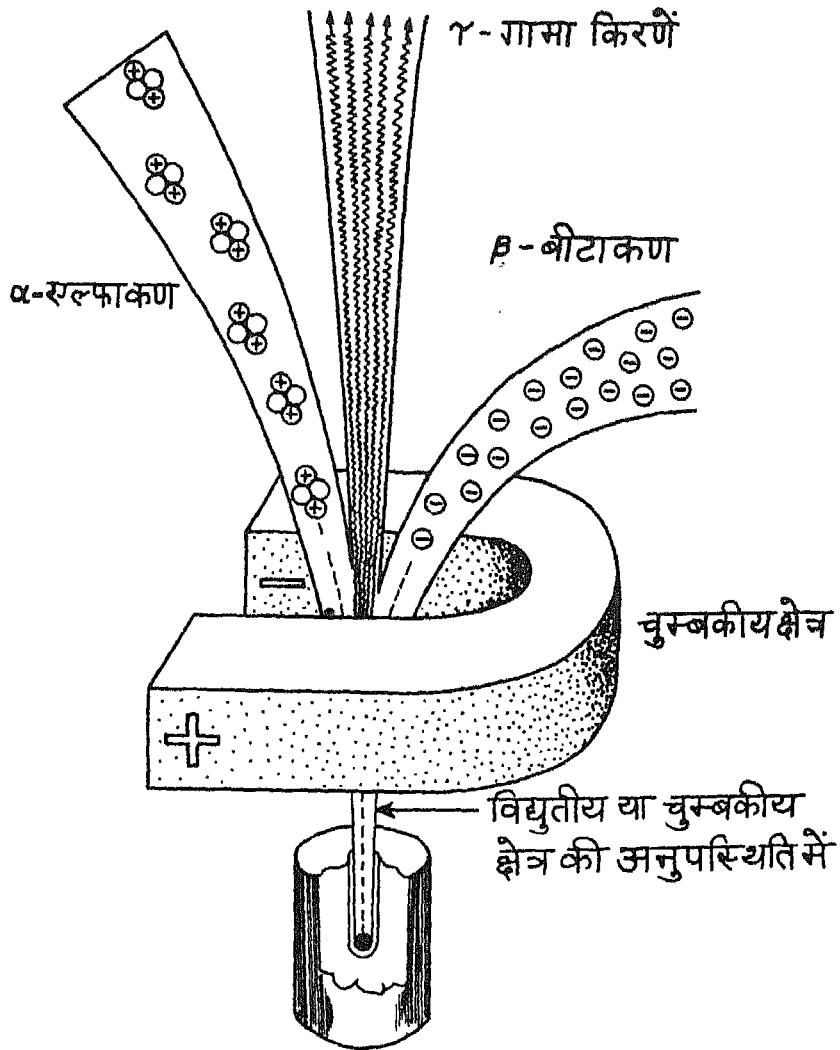
अपने स्कूली जीवन में अनेस्ट रदरफोर्ड को यूनानी और लैटिन भाषा में प्रथम पुरस्कार मिला था अतएव उन्हीं की याद में इन किरणों का नाम यूनानी भाषा के प्रथम तीन अक्षरों पर रख दिया।

रेडियोऐक्टिवता के सिद्धांत:

ऐल्फा, बीटा, तथा गामा किरणों के गुण ज्ञात हो जाने के बाद रदरफोर्ड एवं साडी (Rutherford and Soddy) ने यह मत प्रकट किया कि रेडियोऐक्टिवता परमाणुओं के न्यूक्लियस या नाभिकों से सम्बन्धित गुण हैं। इस पर बाह्य दशाओं, जैसे तापमान, दाब आदि का कुछ भी प्रभाव नहीं पड़ता। इन वैज्ञानिकों ने निम्नलिखित तथ्यों से रेडियोऐक्टिवता की विवेचना की :

(1) रेडियोऐक्टिव तत्वों के परमाणु अस्थायी होते हैं।

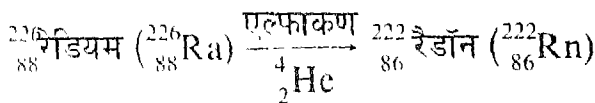
(2) इन तत्वों के न्यूक्लियस से ऐल्फा अथवा बीटा कण स्वतः ही निकला करते हैं और इनके निकलने से ये तत्व अन्य तत्वों में बदलते रहते हैं।

(3) इन तत्वों से जो ऐल्फा या बीटा कण निकलते हैं वे इनके परमाणु नाभिकों के भाग होते हैं और इसलिए उनके निकल जाने से नाभिकों या न्यूक्लियस के भार तथा आवेश में परिवर्तन हो जाता है। ऐल्फा कणों का भार 4 तथा उनपर आवेश की मात्रा 2 प्रोटानों के बराबर होती है, अतएव एक ऐल्फा कण के निकलने से परमाणु के नाभिक के भार तथा आवेश में क्रमशः 4 तथा 2 की कमी हो जाती है। बीटा कण का भार नगण्य है परन्तु उस पर एक ऋणावेश होता है, इसलिए बीटा कण के निकलने से परमाणु के नाभिक के भार में तो कोई अन्तर नहीं पड़ता, परन्तु उसका धनावेश एक बढ़ जाता है।

चित्र-6 नाभिकीय विकिरण

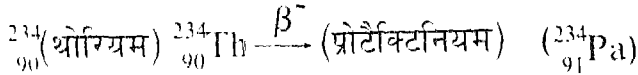
(4) गामा किरणें नाभिक से स्वत: नहीं निकलतीं, वरन् जब बीटा किरणें पदार्थ में टकराती हैं, तो इनकी उत्पत्ति होती है।

समूह स्थानान्तरण नियम (Group displacement law):

उपर्युक्त विवेचन से स्पष्ट है कि परमाणु के नाभिक में ऐल्फा तथा बीटा कणों के निकलने से परिवर्तन हो जाता है। ऊपर लिखा गया है कि ऐल्फा कण के निकलने से परमाणु का भार 4 कम हो जाता है और उसके आवेश में 2 की कमी हो जाती है, अर्थात् इस परिवर्तन में बने तत्व के परमाणु के नाभिक का भार विखंडित होने वाले तत्व से 4 कम तथा उसकी परमाणु संख्या (जो आवेश की मात्रा से प्रकट होती है) पुराने तत्व से 2 कम होगी और यह नया तत्व आवर्त्त तालिका में पुराने तत्व से दो समूह बायें की ओर होगा। उदाहरणार्थ:

$$^{226}_{88}\text{रेडियम}\ (^{226}_{88}Ra) \xrightarrow[^{4}_{2}He]{\text{एल्फाकण}} {}^{222}_{86}\text{रैडॉन}\ (^{222}_{86}Rn)$$

उपर्युक्त α कण परिवर्तन में, आवर्त्त तालिका के दूसरे समूह के सदस्य तत्व रेडियम (परमाणु भार 226 तथा परमाणु संख्या 88) के विखंडन से शून्य समूह का सदस्य तत्व रैडॉन (परमाणु भार 222 तथा परमाणु संख्या 86) बनता है।

इसी प्रकार जब बीटा कण किसी तत्व से निकलता है तो इस परिवर्तन में बने नए तत्व का परमाणु भार विखंडित तत्व के बराबर ही रहता है, परन्तु नए तत्व की परमाणु संख्या पुराने तत्व से एक अधिक हो जाती है, जिसके कारण आवर्त्त तालिका में नवीन तत्व का स्थान पुराने समूह से एक समूह दायें की ओर होता है। उदाहरणत:

$$^{234}_{90}\text{(थोरियम)}\ ^{234}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\beta^-} \text{(प्रोटैक्टिनियम)} \quad (^{234}_{91}\text{Pa})$$

अर्थात् उपर्युक्त परिवर्तन में चौथे समूह के तत्व थोरियम (परमाणु भार 234 तथा परमाणु संख्या 90) के बीटा कण विसर्जन से पांचवें समूह का तत्व प्रोटैक्टिनियम (परमाणु भार 234 तथा परमाणु संख्या 91) बनता है।

इस प्रकार स्पष्ट है कि ऐल्फा तथा बीटा कणों के निकलने से तत्वों में होने वाले परिवर्तनों को 'समूह स्थानान्तरण नियम' द्वारा व्यक्त किया जा सकता है। इस नियम का प्रतिपादन सन् 1913 में वैज्ञानिक फयाँन (Fajans) रसेल (Russel) तथा साडी (Soddy) ने किया था। इस नियम के अनुसार ऐल्फा कण परिवर्तन होने पर नये तत्व का परमाणु भार विखंडित तत्व से 4 कम हो जाता है और नया तत्व आवर्त्त तालिका में विखंडित तत्व से दो समूह बायें की ओर स्थान ग्रहण करेगा तथा बीटा कण परिवर्तन पर विखंडित तत्व के परमाणु भार में तो कोई परिवर्तन न होगा, परन्तु नया तत्व आवर्त्त तालिका में विखंडित तत्व से एक समूह दायीं ओर स्थान लेगा।

रेडियो ऐक्टिव परिवर्तनों की गति (Kinetics of Radioactive Change) तथा रेडियोऐक्टिव तत्वों की अर्द्ध आयु (Half life of Radioactive Elements)

रेडियोऐक्टिव तत्वों की विखंडन गति पर तापमान, दाब तथा विभिन्न संयोजन अवस्थाओं का कुछ भी प्रभाव नहीं पड़ता। इस प्रकार बाह्य परिस्थितियों से सर्वथा अप्रभावित रह कर प्रत्येक तत्व अपनी एक विशिष्ट गति से विखंडित होता रहता है। रदरफोर्ड तथा साडी ने प्रयोगों द्वारा यह निष्कर्ष निकाला कि इस विखंडन की गति उस क्षण उपस्थित परमाणुओं की संख्या के अनुपात में होती है। उदाहरण के लिए एक तत्व (तत्व$_1$) यदि

ऐल्फा या बीटा कण परिवर्तन द्वारा किसी अन्य तत्व (तत्व$_2$) में परिवर्तित हो, तो इस परिवर्तिन को निम्नलिखित समीकरण द्वारा व्यक्त कर सकते हैं :

$$\text{तत्व}_1 \rightarrow \text{तत्व}_2$$

यदि आरम्भ में तत्व$_1$के 'क' परमाणु हों और 'स' सैकन्डों के बाद '(क-य)' परमाणु हों तो स्पष्ट है कि 'स' सैकन्डों में तत्व$_1$ के 'य' परमाणु तत्व$_2$ के 'य' परमाणुओं में परिवर्तित हो गए हैं।

इस सम्बन्ध को निम्नलिखित समीकरण द्वारा प्रकट किया जाता है –

$$\text{स्थिरांक} = \frac{2.303}{\text{स}} \log \frac{\text{क}}{\text{क-य}}$$

इस सम्बन्ध में स्थिरांक (Constant) को तत्व$_1$ का 'विखंडन या परिवर्तन स्थिरांक' (Disintegration या Transformation Constant) कहते हैं। यह प्रत्येक रेडियोऐक्टिव तत्व के इस विशिष्ट गुण को व्यक्त करता है कि यह तत्व किस गति से विखंडित होता है। तत्व के इस गुण को एक अन्य प्रकार से भी व्यक्त किया जाता है और वह है तत्व की अर्द्ध आयु। किसी रेडियो ऐक्टिव तत्व की अर्द्धआयु से यह व्यक्त होता है कि कितने समय में उस तत्व की आधी मात्रा विखंडित हो जाएगी। उदाहरण के लिए उपर्युक्त समीकरण में यह कल्पना की गई थी कि किसी विशिष्ट क्षण पर तत्व$_1$ के परमाणुओं की संख्या 'क' है, तो जितने समय में इस तत्व के आधे अर्थात् 'क/2' परमाणु विखंडित हो जाए, वह इस तत्व की अर्द्ध आयु ($\text{स}^1/_2$) कहलाएगी। उपर्युक्त समीकरण में (क-य) का मान 'क/$_2$ तथा 'स' का 'स$_{1/2}$' रखने पर समीकरण निम्न रूप ले लेता है :

$$\text{स्थिरांक} = \frac{2.303\ \text{क}}{\text{स}_{1/2}} = \log \frac{\text{क}}{\text{क}/_2} = \frac{2.303 \log 2}{\text{स}_{1/2}}$$

$$\text{अर्थात् स}_{1/2}\ (\text{तत्व का अर्द्ध जीवन काल}) = \frac{2.303 \log 2}{\text{स्थिरांक}} = \frac{0.693}{\text{स्थिरांक}}$$

उपर्युक्त सम्बन्ध से स्पष्ट है कि किसी रेडियोऐक्टिव तत्व के स $_{1/2}$ उस तत्व की आरम्भिक मात्रा पर निर्भर नहीं है। वरन् हम उस तत्व की किसी भी मात्रा से आरम्भ करें तो अर्द्ध आयु स $_{1/2}$ के बाद उसकी मात्रा आधी रह जाएगी।

प्रत्येक अर्द्ध आयु (स$^1/_2$) के बाद तत्व की मात्रा आधी रह जाती है। यदि हम तत्व की मात्रा '1' से चलें, तो स$^1/_2$ समय बाद वह आधी (^{4}) रह जाती है और फिर एक अन्य 'स' $^1/_2$ समयान्तर के बाद चौथाई ($^1/_2$x$^1/_2$) रह जायेगी और इसी प्रकार 3 स$^1/_2$, 4 स$^1/_2$, 5 स $^1/_2$.... 10स $^1/_2$ के बाद तत्व की क्रमशः 1/8, 1/16, 1/32, 1/1024 रह जाएगी।

निम्नलिखित सारणी में कुछ तत्वों की अर्द्ध आयु दी गई है।

रेडियम	1620 वर्ष	$^{206}_{81}$थैलियम	4.2 मिनट
यूरेनियम	4.51/ 10^9 वर्ष	$^{220}_{86}$रैडान	52 सैकेन्ड
रैडान	3.82 दिन	$^{212}_{84}$पोलोनियम	3 x 10^7 सैकेन्ड

रेडियोऐक्टिव श्रृंखलाएं

रदरफोर्ड तथा उसके सहयोगियों के प्रयोगों से क्रमशः स्पष्ट होता गया कि प्रायः रेडियोऐक्टिव परिवर्तन में बने तत्व भी स्वयं रेडियोऐक्टिव होते हैं और इस प्रकार परिवर्तन की श्रृंखला प्रायः अनेक तत्वों तक चली जाती है। उनके इन प्रयोगों से तीन रेडियोऐक्टिव श्रृंखलाओं की खोज हुई– (1) यूरेनियम रेडियम श्रृंखला, (2) थोरियम श्रृंखला तथा (3) ऐक्टीनियम। ये श्रृंखलाएं क्रमशः यूरेनियम, थोरियम तथा ऐक्टीनोयूरेनियम से प्रारम्भ

होती हैं और अनेक ऐल्फा तथा बीटा कणों के परिवर्तन के बाद प्रत्येक श्रंखला का अन्तिम तत्व सीसा (लेड) होता है: उदाहरणत:

यूरेनियम $_{238}U$ सीसा $_{206}Pb$
यूरेनियम$_{235}U$ सीसा $_{207}Pb$
थोरियम $_{232}Th$ सीसा $_{208}Pb$

नेपच्यूनियम श्रृंखला (Neptunium Series):
उपर्युक्त तीन प्राकृतिक श्रृंखला के अतिरिक्त एक कृत्रिम श्रृंखला भी पाई गई है, जिसे नेपच्यूनियम श्रृंखला कहते हैं। इस श्रृंखला में अनेक ऐल्फा और बीटा विकिरणों के बाद अंतिम तत्व विस्मथ है:

प्लूटोनियम$_{241}Pu$ बिस्मथ $_{209}Bi$

समस्थानिकों (Isotopes)की खोज:
रेडियोऐक्टिवता के अध्ययन के फलस्वरूप वैज्ञानिक साँडी इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि कुछ तत्व समस्त रासायनिक गुणों में बिल्कुल एकसमान होते हुए भी परमाणु भार तथा रेडियोऐक्टिवता में एक दूसरे से भिन्न है। उदाहरण के लिए थोरियम $^{230}_{90}Th$, रेडियो थोरियम, ($^{228}_{90}Th$) रेडियोऐक्टीनियम ($^{227}_{90}Th$) सब की परमाणु संख्या 90 है और इसलिए तीनों का ही स्थान आवर्त्त तालिका में समान होगा और सब के रासायनिक गुण भी लगभग एकसमान ही होंगे। आवर्त्त तालिका में समान स्थान होने के कारण ही **ऐसे तत्वों को जिनकी परमाणु संख्याएं समान हों परन्तु जिनके परमाणु भार (या द्रव्यमान संख्याएं) भिन्न हों, समस्थानिक** (Isotopes) का नाम दिया गया है।
Isos = सम topos = स्थान, से यह शब्द बना है

सीसा (लेड) पहला स्थायी तत्व है जिसके समस्थानिकों का पता वैज्ञानिकों

को चला। उपर्युक्त तालिकाओं से स्पष्ट है कि यूरेनियम तथा थोरियम दोनों श्रृंखलाओं का अन्तिम स्थायी सदस्य सीसा है। विभिन्न स्तरों पर निकले हुए कुल ऐल्फा कणों की गणना से पता चलता है कि यूरेनियम से प्राप्त सीसे (लेड) का भार 206 होना चाहिए और थोरियम से प्राप्त सीसे का भार 208 । साधारण सीसे का भार 207.1 है। सॉडी ने यह कल्पना की थीं कि साधारण सीसा 206 तथा 208 परमाणु भार वाले समस्थानिकों का मिश्रण है। अपनी कल्पना की पुष्टि में उन्होंने यह प्रदर्शित किया कि थोरिमय खनिज थोराइट से जो सीसा प्राप्त होता है, उसका परमाणु भार 207.7 तक आता है। शीघ्र ही अन्य वैज्ञानिकों ने पता लगाया कि यूरेनियम खनिज यूरेनाइट से निष्कर्षित सीसे का परमाणु भार 206.4 आता है। स्पेक्ट्रम की समानता से यह स्पष्ट था कि ये दोनों तत्व समस्थानिक ही हैं।

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि समस्थानिकों की गवेषणा सर्वप्रथम रेडियोऐक्टिवता के अध्ययन के सम्बन्ध में हुई। परन्तु इससे यह समझना भ्रान्तिपूर्ण होगा कि केवल रेडियोऐक्टिव तत्वों के ही समस्थानिक होते हैं। यथार्थ में निऑन की धन किरणों (Positve Rays) का अध्ययन करते समय सर जे० जे० थामसन को सर्वप्रथम समस्थानिकों की उपस्थिति का आभास मिला था, परन्तु उस समय वे अपने प्रयोगफलों का पूर्ण अभिप्राय समझ नहीं पाए थे। आज हमें ज्ञात है कि निऑन के दो समस्थानिक होते हैं, जिनके परमाणु भार क्रमशः 20 तथा 22 हैं और दोनों की परमाणु संख्या 10 है। परमाणु रचना के आधुनिक ज्ञान से इनके नाभिकों (न्यूक्लियस) का संगठन निम्नवत होगा।

हम जानते हैं कि तत्व के समस्त रासायनिक गुण इनमें वर्तमान इलेक्ट्रॉनों की संरचना पर निर्भर करते हैं। निऑन के इन दोनों समस्थानिकों में 10 इलेक्ट्रॉन हैं, इसलिए इनके रासायनिक गुण एकसमान होंगे। निऑन के इन दोनों समस्थानिकों के केवल न्यूक्लियस में अन्तर है।

इस प्रकार स्पष्ट हो जाता है कि समस्थानिकों के केवल न्यूक्लियस में अन्तर होता है और इसलिए न्यूक्लियस सम्बन्धी रेडियोऐक्टिव गुणों में समस्थानिक भिन्नता प्रदर्शित कर सकते हैं।

न्यूट्रान:

सन् 1920 में रदरफोर्ड ने इंग्लैंड की रायल सोसायटी के समक्ष भाषण देते हुए कहा था कि आवेशरहित तथा प्रोटान के बराबर भार वाले कण भी नाभिक में मिल सकते हैं। सन् 1930 में बोथे (Bothe) और बेकर (Becker) नामक दो जर्मन वैज्ञानिकों ने पोलोनियम से निकले हुए ऐल्फाकणों की लिथियम, बेरीलियम और बोरान के ऊपर बमबारी करके यह देखा कि एक आवेशरहित विकिरण पैदा होता है, जो बहुत दूर तक जा सकता है। जोलियो (Joliot) तथा आइरीन क्यूरी (Irene Curie) ने 1931 में इसकी पुष्टि की। सर जेम्स चाडविक (Sir James Chadwick) ने कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय में रदरफोर्ड के साथ परमाणु रचना सम्बन्धी शोध करते समय 1932 में यह देखा कि बेरिलियम धातु पर ऐल्फा कणों के प्रहार के कारण बेरिलियम में से एक ऐसा कण निकलता है जिसका कोई विद्युत आवेश नहीं है, तथा इसका भार प्रोटान के बराबर है। इस कण को **न्यूट्रान** की संज्ञा दी गई। इसका भार 1.6747×10^{-24} ग्राम और व्यास 1.5×10^{-13} से० मी० होता है। चुम्बकीय या वैद्युतीय क्षेत्र का इस कण पर कोई भी प्रभाव नहीं पड़ता।

कृत्रिम समस्थानिक:

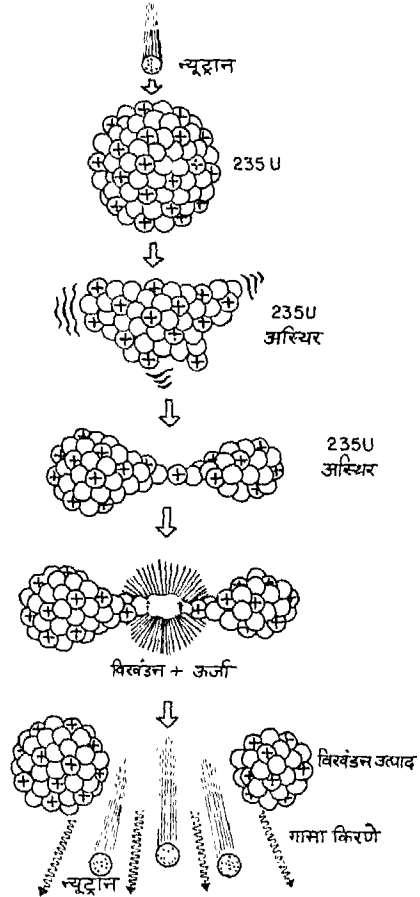
सर जान डगलस काक्राफ्ट (Sir John Douglas Cockroft) ने कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय में रदरफोर्ड के साथ अनुसंधान कार्य किया था। काक्राफ्ट अभियांत्रिकी तथा गणित दोनों ही के ज्ञाता थे। अतएव प्रोटान

ऐक्सीलरेटर निर्माण करने में उन्हें बहुत सहायता मिली। अर्नेस्ट वाल्टन (Earnest Walton) के सहयोग से उन्होंने यह यंत्र बनाया। एक वायुरहित नली में हाइड्रोजन प्रवाहित करके उनकी गति इतनी तीव्र कर दी गई कि लिथियम धातु पर प्रहार करने पर दो ऐल्फा कण निकल आए। इस प्रकार प्रथम नाभिकीय परिवर्तन 1931 में हुआ, किन्तु प्रथम बार कृत्रिम समस्थानिक बनाने का श्रेय फ्रेडरिक (Frederic) तथा आइरीन जोलियो क्यूरी (Irene Joliot Curie) को 1934 में मिला। इस दम्पत्ति ने एल्यूमिनियम धातु पर ऐल्फा कणों की लगातार बमबारी की। इससे एल्यूमिनियम में रेडियोऐक्टिवता आ गई। विश्लेषण करने पर यह ज्ञात हुआ कि एल्यूमिनियम के अतिरिक्त उसमें रेडियोऐक्टिव फास्फोरस भी उपस्थित है। इसी प्रकार ऐल्फाकणों की बमबारी करके बोरान से रेडियोऐक्टिव नाइट्रोजन और मैगनीशियम से रेडियोऐक्टिव सिलिकान बनाया गया। इस प्रकार इस दम्पत्ति ने यह प्रमाणित कर दिया कि **कोई भी तत्व रेडियोऐक्टिव बनाया जा सकता है**। आइरीन क्यूरी, मैडम क्यूरी की पुत्री थी। उन्हें तथा उनके पति फ्रेडरिक जालियों को कृत्रिम रेडियोऐक्टिवता खोज पर 1935 में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

नाभिकीय विखंडन :

1 जनवरी, 1939 को जर्मनी में कैंसर विल्हेल्म इंस्टीच्यूट फार केमिस्ट्री के निदेशक आटो हान ने अपने सहयोगी फ्रिट्ज स्ट्रासमैन (Fritz Strasman) के साथ उदासीन न्यूट्रानों से यूरेनियम के नाभिकों पर प्रहार करके यह पता लगाया कि यूरेनियम का नाभिक दो भागों में विभाजित हो जाता है तथा इससे अधिक मात्रा में ऊर्जा भी निकलती है। इस क्रिया का नाम **नाभिकीय विखंडन** रखा गया। आत्मविश्वास के अभाव में आटो हान अपनी इस महान उपलब्धि को प्रकाशित न करा पाए। आटो हान की एक अन्य

सहयोगी, एक यहूदी महिला लाइस् माइटनर (Lise Meitner) भी थी। उस समय जर्मनी में यहूदियों पर घोर अत्याचार हो रहे थे। यहां तक कि उन्हें जीवन के लाले पड़ गए थे। ऐसी परिस्थिति में लाइस माइटनर जर्मनी से स्वीडेन चली गई और वहां पर उसने हान की उक्त खोज को प्रकाशित करवाया। माइटनर को हॉन की उपलब्धियों पर पूर्ण विश्वास था। उसे इस बात का आभास हो गया था कि द्रव्यमान में कमी होने के कारण यूरेनियम के नाभिकीय विखंडन के समय ऊर्जा का असीम भंडार उपलब्ध हो सकता है।

हॉन की तरह ही इटली में एनरिको फर्मी (Enrico Fermi) ने इसी प्रकार की मिलती-जुलती खोज प्रारम्भ की। फर्मी ने 1934-38 के बीच यूरेनियम नाभिक पर उदासीन न्यूट्रानों की बमबारी करके चारों इलेक्ट्रॉन परायूरेनियम तत्वों के कारण पाए गए हैं। जिस समय फर्मी अपना परीक्षण

चित्र-7 नाभिकीय विखंडन

कार्य कर रहे थे, उस समय इटली की राज्यसत्ता तानाशाह मुसोलिनी के हाथ में थी। वह हिटलर का मित्र था और वह भी यहूदियों को नष्ट करने में लगा हुआ था। फर्मी स्वभाव से तानाशाही शासन के विरुद्ध थे और उनकी पत्नी यहूदी थीं, अतएव वह इटली छोड़कर स्वीडेन आ गए और वहां से अमेरिका चले आए। लाइस माइटनर तथा प्रसिद्ध डैनिश विद्वान नील्स बोर को यह पूर्ण विश्वास था कि नाभिकीय विखंडन का उपयोग अत्यन्त शक्तिशाली परमाणु अस्त्र बनाने में किया जा सकता है। फर्मी तथा अलबर्ट आइस्टाइन ने उक्त सम्भावना को ध्यान में रखते हुए अमरीकी राष्ट्रपति फ्रैंकलिन डी० रूजवेल्ट को पत्र लिखकर सावधान किया कि यदि द्वितीय विश्व युद्ध काल में, जर्मनी ने आटो हॉन की खोज का उपयोग करके परमाणु अस्त्र बना लिया तो यह मित्र राष्ट्रों (अमेरिका, ब्रिटेन, फ्रांस, रूस और चीन)के लिए महान घातक और अनर्थकारी सिद्ध होगा। इन पत्रों पर अमेरिकी सरकार ने तुरन्त ध्यान दिया और 6 दिसम्बर, 1941 को अमेरिकी राष्ट्रपति रूजवेल्ट ने **मैनहाटेन इंजिनियरिंग डिस्ट्रिक्ट** (Manhattan Engineering District) की स्थापना की। वास्तव में यह परमाणु बम विकास की परियोजना थी। शिकागो में फर्मी के नेतृत्व में अत्यंत रहस्यात्मक ढंग से यह कार्य आरम्भ किया गया। इस परियोजना में किए गए समस्त प्रयोग और प्रयास गोपनीय रखे गए। वैज्ञानिकों ने इसे इतना गोपनीय रखा कि लोगों को यह भी नहीं पता था कि इस परियोजना का लक्ष्य क्या है।

2 दिसम्बर, 1942 की रात्रि में शिकागो में निर्मित नाभिकीय रिएक्टर में से कैडमियम की कुछ छड़ें निकाल दी गईं। ऐसा करने से यह ज्ञात हुआ कि नाभिकीय विखंडन नियंत्रित रूप से चल रहा है। इस महान सफलता की सूचना अमरीकी सरकार को सांकेतिक भाषा में इस प्रकार भेजी

गई "इटेलियन नाविक ने नए विश्व में प्रवेश कर लिया है।" जून 1942 में परमाणु बम बनाने की योजना के निदेशक जे० राबर्ट ओपेनहाइमर बनाए गए और सारा कार्य अमेरिका के विभिन्न स्थानों पर अत्यंत गोपनीय ढंग से होता रहा। अन्त में 16 जुलाई, 1945 को अमेरिका के न्यू मेक्सिको राज्य के रेगिस्तानी प्रदेश में दूर संचालित यंत्र से प्रथम नाभिकीय विस्फोट किया गया। इससे पृथ्वी और वायुमंडल दोनों ही हिल उठे। विस्फोट से उत्पन्न प्रकाश को देखकर ओपेनहाइमर को 'गीता' का यह श्लोक सहसा स्मरण हो आया।

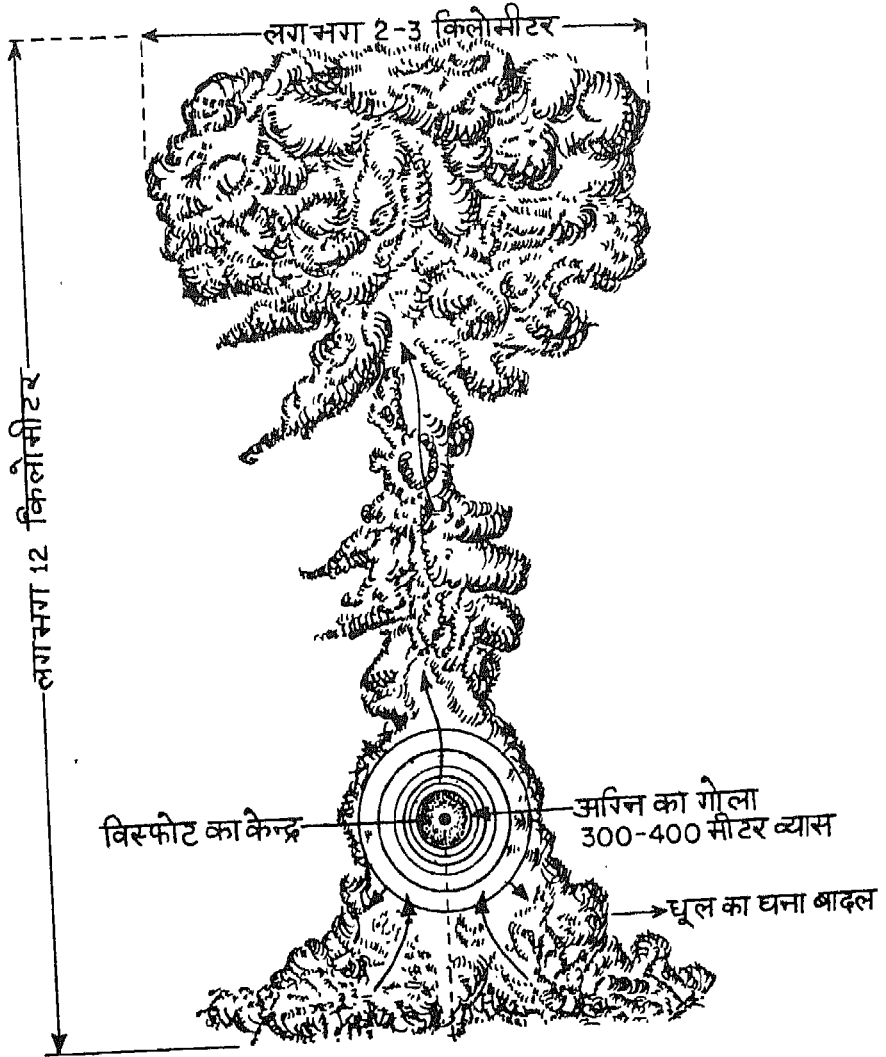
दिवि सूर्य सहस्त्रस्य भवेद्युग पदुत्थिता।
यदि भाः सदृशी सा स्याम्दासस्तस्य महात्मनः।।

(आकाश में हजारों सूर्यों के एक साथ उदय होने से जो प्रकाश उत्पन्न हो, वह भी उस विश्वरूप परमात्मा के प्रकाश के सदृश कदाचित ही हो।)

परमाणु विस्फोट के समय कुकुरमुत्ते के आकार का धुआँ जब आकाश की ओर बढ़ने लगा तब उसके भयावह नर संहार की क्षमता को देखकर ओपेनहाइमर को गीता का एक अन्य श्लोक संस्मरित हो उठा।

कालोऽस्मि लोक क्षय कृत्प्रवृद्धो लोकान्समाहर्तुमिह प्रवृतः।
ऋतेऽपि त्वां न भविष्यन्ति सर्वे येऽवस्थिताः प्रत्यनीकेषु योधाः।।

(मैं लोकों का नाश करने वाला बढ़ा हुआ महाकाल हूँ, इस समय इन लोकों को नष्ट करने के लिए प्रवृत्त हुआ हूँ, इसलिए जो प्रतिपक्षियों की सेना में स्थित हुए योद्धा लोग हैं, वे सब तेरे बिना भी नहीं रहेंगे अर्थात तेरे युद्ध न करने से भी इन सब का नाश हो जायेगा।)

इस परीक्षण के उपरान्त अमेरिका के राष्ट्रपति ट्रूमन ने यह घोषणा की यदि जापान युद्ध में आत्मसमर्पण नहीं करेगा, तो उसकी समस्त सेना नष्ट हो जायेगी और उस देश का अप्रत्याशित विनाश हो जायेगा। जापान पर इस घोषणा का अनुकूल प्रभाव न पड़ने पर, 6 अगस्त, 1945 को बीस

चित्र-8 परमाणु बम विस्फोट

हजार टन टी०एन०टी० की विस्फोट क्षमता का प्रथम परमाणु बम जापान के हिरोशिमा नगर पर डाला गया। इस बम विस्फोट से कुकुरमुत्ते के आकार का धुआँ आकाश में बीस हजार फुट तक ऊपर चला गया। इस बम का सांकेतिक नाम लिटल बॉय (Little Boy) था। बम डालने वाले वायुयान के चालक तथा ग्रुप कमांडर कर्नल पाल टिबेट्स की माता के नाम पर इस वायुयान का नाम 'एनोला गे' (Enola Gay) रखा गया था। इसी तरह प्लूटोनियम बम का नाम 'फैट मैन' (Fat Man) रखा गया था और उसके ले जाने वाले बम बर्षक वायुयान का नाम 'बाक्स कार' (Bock's Car) रखा गया था। यह बम 9 अगस्त, 1945 को जापान के दूसरे नगर नागासाकी पर डाला गया और जापान ने आत्मसमर्पण कर दिया।

इस प्रकार द्वितीय महायुद्ध का तो अन्त हो गया, परन्तु परमाणु बम से हुए तत्कालीन भयानक विध्वंस की याद आज भी पूरे संसार को थर्रा देती है। इतने लम्बे समय बाद आज भी हिरोशिमा और नागासाकी के सहस्रों नागरिक 1945 में गिरे परमाणु बम से उत्पन्न रेडियोऐक्टिव विकिरणों के हानिकारक प्रभावों से बुरी तरह ग्रस्त हैं। इससे भी अधिक दुख की बात तो यह है कि इन विकिरणों के कारण आज भी पैदा हो रहे बच्चे अनेकानेक रोगों से ग्रसित रहते हैं। संतोष की बात सिर्फ इतनी है कि भारत जैसे कुछ देशों ने परमाणु बम के दीर्घगामी कुप्रभावों को देखते हुए, परमाणु ऊर्जा के शांतिपूर्ण उपयोगों को अपनाने का ही निश्चिय किया है जिसके विषय में आप इस पुस्तक के अंतिम अध्याय में पढ़ेंगे।

□□

4

आवर्त्त तालिका में कुछ लुप्त तत्व

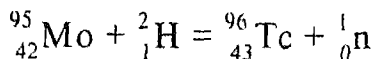
हमारी पृथ्वी की आयु निश्चित ही 10^9 वर्षों से अधिक है, अतएव धरती के निर्माण के समय बनने वाले अनेक तत्व इस पृथ्वी पर से लुप्त हो गए, क्योंकि इनकी अर्द्ध आयु इतनी कम थी कि निरन्तर क्षय होने के कारण इस धरती पर से इनका अस्तित्व समाप्त हो गया। इनकी तुलना में दीर्घ आयु वाले तत्वों का क्षय निरंतर होता गया, फिर भी यूरेनियम और थोरियम नामक तत्व धरती पर पाए जाते हैं। रेडियोएक्टिव तत्वों के क्षय से पोलोनियम (84), रेडान (86), फ्रैंसियम (87), रेडियम (88) और प्रोटएक्टीनियम (91) नामक तत्वों का बनना लगातार जारी रहा। जिन अत्यन्त अल्प आयु वाले तत्वों की रचना प्रयोगशालाओं में की गई उनके नाम हैं:

टेक्नीशियम, प्रोमेथियम, ऐस्टेटीन, फ्रेंसियम

आवर्त्त तालिका में इन तत्वों के स्थान हैं: 43, 61, 85, 87। इन तत्वों के बनाने का ढंग और इनके कतिपय गुणों का वर्णन इस अध्याय में किया जायेगा।

टेक्नीशियम (43)

कुछ वैज्ञानिकों ने यह सिद्ध करने का प्रयास किया कि यह तत्व आकाशीय पिंडों तथा सूर्य के वायुमंडल में पाया जाता है, परन्तु इस विचारधारा के सम्बन्ध में अनेक मतभेद पाए गए। रेनियम की खोज करते समय नोडैक और टैक (Noddack & Tecke) ने इस तत्व को अलग करके, इसका नाम 'मसूरियम' रखा। कुछ समय के उपरान्त यह पता चला कि इन दोनों वैज्ञानिकों के परीक्षणों में अनेक त्रुटियां थीं। वास्तव में इस तत्व के विषय में इन दोनों को कोई भी जानकारी नहीं थी। सर्वप्रथम पेरियर और सीग्रे (Perrier and Segre) ने इस तत्व को 1937 में बनाया। कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय के बर्कले परिसर के पुराने साइक्लोट्रान के डिफ्लेक्टर में मॉलिब्डिनम भी उपस्थित था। जब पांच मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा वाले, न्यूट्रान कणों का समूह साइक्लोट्रान से निकलने के बाद डिफ्लेक्टर पर गिरता था, तब न्यूट्रान बाहर निकल आते थे। इसके साथ साथ यह नया तत्व 43 भी बन जाता था। यह नाभिकीय क्रिया इस प्रकार होती है।

$$^{95}_{42}\mathrm{Mo} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} = {}^{96}_{43}\mathrm{Tc} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

यूनानी भाषा में Technetos शब्द का अर्थ है, कृत्रिम, अतएव इस तत्व का नाम टेकनीशियम और इसका संकेत Te रखा गया।

यूरेनियम जब स्वतः विखंडित होता है, तब विखंडन उत्पादों में टेकनीशियम के समस्थानिक अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में पाए जाते हैं। इन समस्थानिकों का भार 92 से 107 के बीच में होता है। इस तत्व के तीन दीर्घजीवी समस्थानिक पाए जाते हैं, शेष समस्थानिक अल्पजीवी होते हैं।

दीर्घायु वाले समस्थानिकों में से ^{99}Tc की अर्द्ध आयु 2.12×10^5 वर्ष होती है। इसका क्षय होने पर ऋणात्मक बीटा कण निकलते हैं। इसे बनाने के लिए कोलाम्बाइट या ईट्रो टैन्टेलाइट नामक खनिज पदार्थों को नाभिकीय रिऐक्टर के भीतर रख कर मन्द न्यूट्रानों की बमबारी की जाती है। इस तत्व को मॉलिब्डेनम से पृथक करके अमोनियम परटेकनीटेट यौगिक बनाया जाता है। फिर अमोनियम परटेकनीटेट (NH_4TcO_4) को दो नार्मल गंधक के अम्ल में मिलाकर विद्युत धारा प्रवाहित करके यह धातु बनाई जाती है। इसमें लगातार हाइड्रोजन पर आक्साइड मिलाया जाता है ताकि एक भूरे रंग का बनने वाला पदार्थ नष्ट हो जाये। एक अन्य विधि में हाइड्रोजन की उपस्थिति में अमोनियम परटेक्नीटेट को गरम करके यह धातु निकाली जाती है।

रंग में यह धातु प्लेटिनम की तरह होती है और काले चूर्ण के रूप में पाई जाती है। इसके रवे षटकोणात्मक बन्द संकुलित (Hexagonal Close Packed) होते हैं। यह धातु नम वायुमंडल में धीरे-धीरे उपचित हो जाती है और इसके आक्सी अम्ल बन जाते हैं। इस धातु का घनत्व 11.487 है। शोरे के सान्द्र अम्ल अथवा गन्धक के गरम अम्ल से प्रतिक्रिया करके इस धातु के आक्सी अम्ल बनाए जाते हैं। यह धातु हाइड्रोफ्लोरिक अथवा हाइड्रोक्लोरिक अम्लों में अविलेय होती है, किन्तु ब्रोमीन जल में सरलता से घुल जाती है।

आवर्त सारिणी के 7 समूह में मैगनीज और रेनियम के बीच में इस तत्व का स्थान निश्चित किया गया है, परन्तु इसके अधिकांश गुण मैंगनीज से नहीं बल्कि रेनियम से मिलते हैं। इस तत्व के कुछ रासायनिक गुण मॉलिब्डेनम और प्लेटिनम से भी मिलते जुलते हैं।

इस तत्व के यौगिक अनेक रंगों में पाए जाते हैं। उदाहरण के लिए

कुछ यौगिकों का रंग दिया जा रहा है।

TcO_2	टेक्नीशियम डाइ आक्साइड	काला
TcO_3	टेक्नीशियम ट्राई आक्साइड	बैंगनी
Tc_2O_7	डाई टेक्नीशियम हेप्टा आक्साइड	पीला
$TcCl_4$	टेक्नीशिमय टेट्रा क्लोराइड	रक्त वर्ण
$TcCl_6$	टेक्नीशियम हेक्सा क्लोराइड	हरा
TcF_6	टेक्नीशियम हेक्सा फ्लोराइड	पीला स्वर्णिम

इस तत्व की पहचान स्पेक्ट्रम द्वारा की जा सकती है। इस तत्व के वर्णक्रम में 4927.2, 4261.9, 4095.3, 4088.4, 4031.3 और 3237.0 एगस्ट्राम रेखाएं पाई जाती हैं। यह परीक्षण इतना सरल होता है कि किसी विलयन में इस तत्व के दस लाखवें भाग की उपस्थिति का पता चल जाता है।

यह देखा गया है कि परटेकनीटेट आयनों (TcO_4^-) की अत्यन्त कम मात्रा में उपस्थित रहने पर भी इस्पात का उपक्षर (Corrosion)नहीं होता, अतः यह आशा की जाती है कि आगे चलकर इसका प्रयोग इस्पात के उपक्षर को रोकने में किया जाए।

प्रोमेथियम (61)

अमेरिका के इलिन्वाय (Illinois) और इटली के फ्लोरेंस (Florence) विश्वविद्यालयों में अनुसंधान करने वाले कुछ वैज्ञानिकों ने 1926 में यह घोषित किया कि उन लोगों ने इस तत्व को अलग कर लिया है। अपने-अपने विश्वविद्यालयों के नाम पर इन लोगों ने इस तत्व का नाम **इलीनियम** और **फ्लोरेंसियम** रखा। बाद में यह पता चला कि इस तत्व के सम्बन्ध में किए गए सभी परीक्षण गलत थे। द्वितीय विश्व युद्ध काल में अमेरिका के

आकेरिज राष्ट्रीय अनुसंधानशाला में कार्य करने वाले तीन वैज्ञानिक कोरियल, ग्लैडेनिन और मैरिन्सकी ने 1945 में इस तत्व का पता लगाया। इन लोगों ने यूरेनियम के विखंडन उत्पादों में से इस तत्व के 147 भार वाले समस्थानिक को पृथक किया। यह समस्थानिक बीटा क्षय द्वारा नष्ट होता है और इसकी अर्द्ध आयु 2.64 वर्ष है।

इस तत्व का प्रोमेथियम नाम पड़ने की भी एक कहानी है। यूनानी कथाओं में पृथ्वी पर अग्नि लाने की एक कथा है। प्रोमेथियस नामक व्यक्ति स्वर्ग से अग्नि चुराकर धरती पर लाता है। उसका उद्देश्य चोरी करना नहीं था, बल्कि समस्त मानव जाति के उपकार के लिए उसने यह अपराध किया था। इस अपराध के लिए उसे बहुत कष्ट सहना पड़ा। कैरियल और उसके सहयोगियों ने इस तत्व को नाभिकीय रिऐक्टर की अग्नि से निकाला था, अतएव इस तत्व का नाम **प्रोमेथियम** रखा।

एक किलो यूरेनियम के अयस्कों में लगभग 4×10^{-15} ग्राम प्रोमेथियम पाया जाता है। यह तत्व यूरेनियम के स्वतः विखंडन से उत्पन्न होता है। इस तत्व के समस्त समस्थानिक अस्थिर और रेडियोऐक्टिव होते हैं। इनकी अर्द्ध आयु अत्यन्त कम होती है। इस तत्व का सबसे दीर्घजीवी समस्थानिक प्रोमेथियम 145 है, जिसकी अर्द्ध आयु केवल तीस वर्ष है। नाभिकीय रिएक्टर में 238 भार वाले यूरेनियम के परमाणुओं से अभिक्रिया द्वारा प्रोमेथियम का 147 भार वाला समस्थानिक बनाया जाता है। इसकी अर्द्ध आयु 2.64 वर्ष है। प्रोमेथियम का क्षय बीटा, या पाजिट्रान कणों के निकलने से अथवा इलेक्ट्रान परिग्रहण द्वारा होता है, नियोडाइमियम अथवा प्रेसियोडाइमियम के ऊपर तीव्र गतिमान न्यूट्रानों की बम बर्षा करके प्रोमेथियम बनाया जा सकता है।

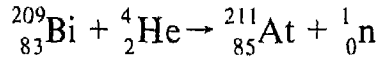
प्रोमेथियम उपचयन की तृतीय अवस्था में पाया जाता है। इसके परमाणुओं का अर्द्ध व्यास 0.979 ऐंगस्ट्राम होता है। प्रोमेथियम नाइट्रेट का

रंग गुलाबी और प्रोमेथियम क्लोराइड का रंग पीला होता है। इस तत्व के गुण 'रेयर अर्थ' समूह के तत्व नियोडाइनियम और समैरियम के बीच के होते हैं।

प्रोमेथियम ट्राईफ्लोराइड (PmF_3) को लिथियम के साथ अपचित करके प्रोमेथियम बनाया जाता है। इस तत्व का परिचयन वर्णक्रम की 4086.0, 3980.6, 3910.4 और 3711.7 ऐंगस्ट्राम रेखाओं द्वारा किया जाता है।

ऐस्टेटीन (85)

कार्सन, मैकेंजी तथा सीगे ने साइक्लोट्रान में हीलियम आयनों को त्वरित करके, बिस्मथ 209 के ऊपर बमबारी की। बिस्मथ तथा हीलियम आयन के मिलने पर एक नया नाभिक बना, जिसमें से दो न्यूट्रान निकल गए। इस प्रकार ऐस्टेटीन का एक समस्थानिक बनाया गया जिसका भार 211 था। निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा इस तत्व की रचना हुई।

$$^{209}_{83}Bi + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{211}_{85}At + ^{1}_{0}n$$

बमबारी के उपरान्त बिस्मथ को उच्च निर्वात वाले स्थान में रखकर पिघलाया गया। पिघलाने पर ऐस्टेटीन आसवित होकर बाहर निकल आता है। इसे एक नली में इकट्ठा कर लिया जाता है। इस नली को ठंडा करने के लिए इसके चारों ओर द्रव नाइट्रोजन रखी रहती है। इस तत्व की आयु बहुत कम है अतएव इसका नाम **ऐस्टेटीन** रखा गया। यूनानी भाषा में इस शब्द का अर्थ है 'अस्थिर'। ऐस्टेटीन 211की अर्द्ध आयु 7.5 घंटा होती है। अब तक इस तत्व के लगभग बीस समस्थानिक ज्ञात हो चुके हैं जिनका भार 202 से लेकर 219 के बीच में होता है। इस तत्व का सबसे दीर्घजीवी समस्थानिक ऐस्टेटीन 210 होता है, जिसकी अर्द्ध आयु 8.3 घंटा होती है।

प्रकृति में पाया जाने वाला ऐस्टेटीन, थोरियम और ऐक्टीनियम क्षय श्रेणी में मिलता है। इसमें इस तत्व के 215 और 216 भार वाले समस्थानिक पाए जाते हैं। ऐस्टेटीन 216 की अर्द्धआयु 3×10^{-4} सेकेन्ड होती है और ऐल्फा कणों के निकलने से इनका क्षय होता है। ऐस्टेटीन 218 की अर्द्ध आयु 1.4 से लेकर 2.0 सैंकेन्ड के बीच में होती है। इसका भी क्षय ऐल्फा उत्सर्जन द्वारा होता है। ऐस्टेटीन 219 की अर्द्ध आयु 0.9 मिनट होती है और इसके नाभिकों का क्षय एल्फा और बीटा कणों के उत्सर्जन द्वारा होता है। जब फ्रैसियम 223 से ऐल्फा उत्सर्जन होता है तब यह समस्थानिक बनता है।

इस प्रकार यह देखा गया कि इस तत्व की आयु बहुत कम होती है। अतएव इसके गुणों का ठीक से रासायनिक अध्ययन नहीं हो पाया है। यह तत्व आयोडीन का सजातीय है और इसके अनेक गुण धातुओं की तरह होते हैं। यह एक वाष्पशील तत्व है और पानी में कम घुलता है किन्तु 0.01 मोलर शोरे के तेजाब में अच्छी तरह घुल जाता है। जिस प्रकार आयोडीन को बेन्जीन या कार्बन टेट्रा क्लोराइड के विलयन में निकाल लिया जाता है, उसी प्रकार इसे भी निकाला जा सकता है। क्षारीय विलयनों में से यह तत्व नहीं निकाला जा सकता। इस तत्व के अध्ययन के लिए अत्यंत सूक्ष्म विलयनों का इस्तेमाल किया गया। इन विलयनों की सान्द्रता 10^{-15} मोलर थी। अतएव समस्त अध्ययन रेडियो ऐक्टिवता में प्रयुक्त होने वाली विधियों से ही हो पाए हैं।

जिस प्रकार आयोडीन I^- के रूप में पाया जाता है, उसी प्रकार ऐस्टेटीन भी At^- के रूप में मिलता है। यह आयन क्षारीय या अम्लीय विलयन में से सिल्वर आयोडाइड अथवा थैलियम आयोडाइड के साथ साथ अवक्षेपित हो जाता है। यदि ऐस्टेटीन के आयनों को शोरे के अम्ल में उपचित कर दिया जाय और इसमें विद्युतधारा प्रवाहित की जाए तो इस तत्व के आयन ऐनोड की ओर जाते हैं। इससे यह पता चलता है कि ऐस्टेटीन का या तो AtO_3^-

अथवा AtO^- आयन उपस्थित है। यदि किसी विलयन में पारे, बिस्मथ और ऐस्टेटीन के आयन उपस्थित हो और उस विलयन में हाइड्रोजन सल्फाइड गैस प्रवाहित की जाए तो इन तत्वों के सल्फाइड एक साथ अवक्षेपित हो जाते हैं।

फ्रेंसियम (87)

आवर्त्त तालिका के प्रथम अ समूह में सीजियम के उपरान्त इस तत्व का स्थान निश्चित किया गया है। यह एक रेडियोऐक्टिव तत्व है। इसके समस्थानिकों की अर्द्ध आयु अत्यन्त अल्प होती है। अतएव इस तत्व का भी लोप हो गया और प्रकृति में उपलब्ध नहीं है। एक फ्रांसीसी वैज्ञानिक मार्गरित पेरी (Margueritte Perey) ने इस तत्व का पता लगाया और अपने देश फ्रांस के नाम पर इस तत्व का नाम फ्रेंसियम रखा। ऐक्टीनियम के क्षय होने पर ऐक्टीनियम के (Actinium K) उत्पन्न होता है। ऐल्फा कणों के निकलने से वह तत्व बनता है। इस समस्थानिक का भार 223 है तथा इसकी 223 अर्द्ध आयु 21 मिनट होती है। इसका संकेत है Fr।

इस तत्व को प्रयोगशाला में बनाने के लिए थोरियम के ऊपर उच्च ऊर्जावान प्रोटोनों, ड्यूट्रानों या हीलियम के आयनों की बमबारी की जाती है। इस अभिक्रिया से फ्रेंसियम बनाया जाता है। यह प्राय: निश्चित है कि इस तत्व के दीर्घ आयु वाले समस्थानिक नहीं बन पाएंगे। यदि ऐक्टिीनियम और अन्य रेडियोधर्मी पदार्थों को पृथक कर दिया जाय तो फ्रैंसियम विलयन में रह जाता है। सीजियम के कुछ लवणों के साथ यह सहअवक्षेपित हो जाता है। इसी प्रकार धनायन विनियम रेजिनों के द्वारा भी इसे पृथक किया जा सकता है।

इस तत्व का रासायनिक अध्ययन केवल ट्रेसर विधि द्वारा किया जा सकता है। इसके अधिकांश लवण जल में घुलनशील हैं और उनके गुण क्षारीय धातुओं से मिलते हैं। □□

5

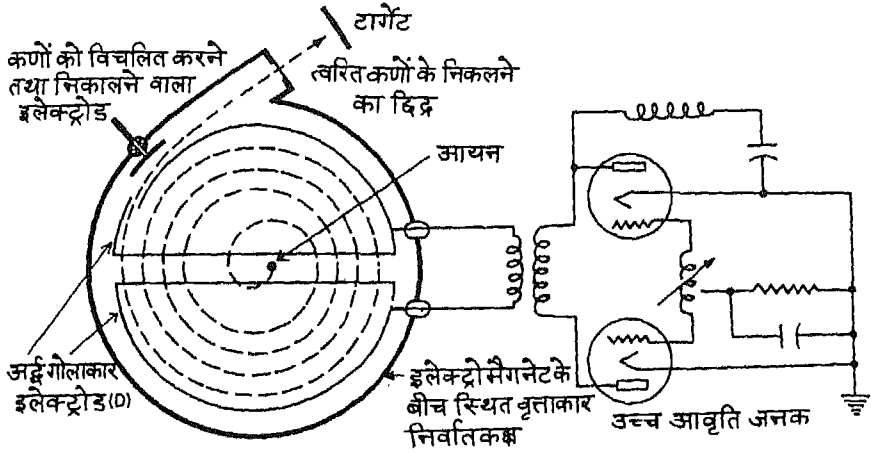
कृत्रिम तत्व बनाने के यंत्र और रचना विधियां

कृत्रिम तत्व बनाने के लिए तत्व के किसी समीपवर्ती नाभिक और अत्याधिक ऊर्जावान आवेशित कणों की आवश्यकता पड़ती है। नाभिक के भीतर आवेशित कण पहुंचने पर एक मिश्र नाभिक बन जाता है। इस मिश्र नाभिक के क्षय होने पर एक नवीन तत्व बन सकता है। आवेशित कण बनाने के लिए किसी गैसीय तत्व को विद्युत चाप के भीतर रखा जाता है। ऐसा करने से तत्व के परमाणुओं के धनात्मक आयन बन जाते हैं और उनके कुछ इलेक्ट्रॉन बाहर निकल आते हैं। विद्युतीय क्षेत्र में रखने पर यह आयन त्वरित हो जाते हैं। त्वरित आयनों को अत्याधिक ऊर्जावान बनाने के लिए उच्च विभव (High Potential) की आवश्यकता पड़ती है, किन्तु उच्च विभव प्राप्त करना सरल नहीं है। त्वरित करके अत्यधिक ऊर्जावान आयन बनाने वाले यंत्रों में साइक्लोट्रॉन, सिंक्रोट्रॉन, ताप रिएक्टर आदि मुख्य हैं। संक्षिप्त विवरण यहां पर दिया जा रहा है।

साइक्लोट्रॉन (Cyclotron)

इस यंत्र का आविष्कार प्रोफेसर ई० ओ० लारेंस ने 1929 में किया

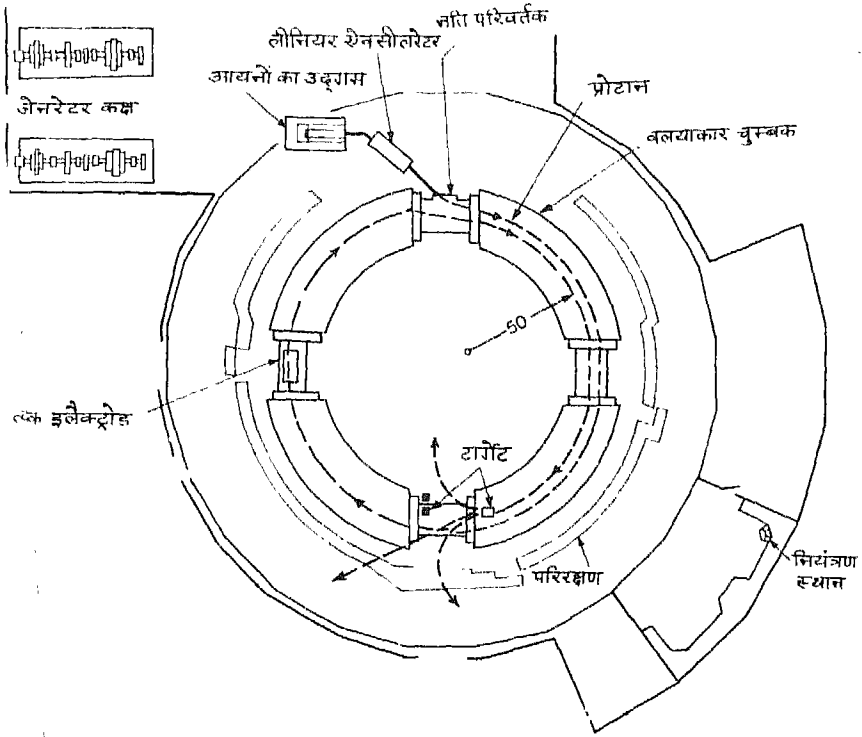
था। इस उपकरण का चित्र नीचे दिया गया है। इसमें दो इलेक्ट्रोड बने होते हैं। इन इलेक्ट्रोडों का आकार अंग्रेजी भाषा के 'डी' अक्षर (D) की तरह होता है इसलिए इलेक्ट्रोडों का कार्य करने वाली, डी के आकार की इन दोनों खोखली पेटियों को 'डी' कहा जाता है। दोनों 'डी' को किसी रेडियो आवर्त ढोलक से जोड़ दिया जाता है। ऐसा करने के कारण एक इलेक्ट्रोड का विभव दूसरे की तुलना में कभी तो धनात्मक हो जाता है और कभी ऋणात्मक। इन दोनों इलेक्ट्रोडों को किसी विशाल विद्युत चुम्बक के ध्रुवों के बीच में इस प्रकार रख दिया जाता है कि चुम्बकीय क्षेत्र दोनों इलेक्ट्रोडों के तल पर 90^0 पर स्थित हो और इसका प्रभाव सब जगह समान हो। आयनों का उद्‌गम दोनों 'डी' के केन्द्र में रखा जाता है। आयन, सबसे पहले उस 'डी' की ओर जाते हैं, जिस पर आवेश ऋणात्मक होता है। आवेशित कण जब 'डी' के भीतर पहुंचते हैं, तब उनपर केवल चुम्बकीय क्षेत्र का ही प्रभाव पड़ता है। इसलिए चुम्बकीय शक्ति से प्रेरित होने पर इनका मार्ग वृत्ताकार हो जाता है। यह मार्ग उस समय तक वृत्ताकार रहता है जब तक कि आवेशित कण 'डी' के बाहर नहीं निकल पाता। बाहर निकल आने पर आवेशित कण दोनों 'डी' के बीच की खाली जगह को पार करता हुआ दूसरी 'डी' के भीतर चला जाता है। आवेशित कण को दूसरी 'डी' के भीतर पहुंचाने के लिए, दोलक की आवृत्ति को इस प्रकार नियंत्रित करना पड़ता है कि जिस समय आवेशित कण दूसरी 'डी' के पास पहुंचता है ठीक उसी समय वह ऋणात्मक हो जाता है। आवेशित कण इस प्रकार दोनों 'डी' के भीतर त्वरित होता रहता है। प्रत्येक बार दोनों 'डी' के बीच के स्थान को पार करते समय इसकी ऊर्जा लगभग पचास किलो इलेक्ट्रान वोल्ट तक हो जाती है।

साइक्लोट्रॉन में घूमने वाले आवेशित कणों की गति जितनी तीव्र होती जाती है, उतना ही अधिक उनके मार्ग का अर्द्धव्यास भी बढ़ता जाता है।

चित्र-9 साइक्लोट्रॉन

मार्ग की परिधि लगातार बढ़ते रहने से, अन्त में वह इलेक्ट्रोड की सबसे बाहरी सीमा के पास पहुंच जाता है। इस समय इसे बाहर निकाल लिया जाता है। त्वरित कणों को साइक्लोट्रॉन से बाहर निकालने की कई विधियाँ प्रचलित हैं। इनमें से 'वक्र डिफ्लेक्टर इलैक्ट्रोड' विधि बहुत ही सरल है। डिफ्लेक्टर का विभव लगभग पचास किलो वोल्ट और आवेश ऋणात्मक होता है। धनात्मक त्वरित कण अपने कक्षक को छोड़कर डिफ्लेक्टर (Deflector) की ओर आकर्षित हो जाते हैं। डिफलेक्टर की सहायता से इन्हें टार्गेट (Target) के ऊपर भेज दिया जाता है। बड़े-बड़े साइक्लोट्रॉनों से निकले हुए कणों की गति प्रकाश की गति के पांचवें भाग के बराबर होती है। इतना त्वरित हो जाने पर पदार्थ का द्रव्यमान दो प्रतिशत बढ़ जाता है। यह कठिनाई सिन्क्रोसाइक्लोट्रॉन या फ्रीक्वेंसी माड्युलेटेड साइक्लोट्रॉनों द्वारा दूर की जाती है।

कुछ ऐसे साइक्लोट्रॉन बनाए गए है, जिनका चुम्बकीय क्षेत्र धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है। ऐसा करने से आवेशित कण, प्रत्येक कक्षक की परिक्रमा, समान समय में समाप्त कर लेते हैं। कणों का दोलन चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में ऊपर-नीचे होता है और बहुत से कण 'डी' के तल पर टकराकर नष्ट हो जाते हैं। इस प्रकार होनेवाले कणों के विनाश को रोक कर उन्हें दोनों इलेक्ट्रोडों के मध्य में स्थित रखने के लिए चुम्बकीय ध्रुवों पर उभरी हुई त्रिभुजाकार सर्पिल पट्टियाँ बना दी जाती हैं। दोलक की आवृत्तियों को घटाना-बढ़ाना सरल नहीं है, लेकिन चुम्बकीय क्षेत्र आवश्यकतानुसार घटाया बढ़ाया जा सकता है। दोलक की आवृत्ति घटाने पर, साइक्लोट्रान से निकले हुए कणों की ऊर्जा कम हो जाती है। साइक्लोट्रानों में लगे हुए दोलकों की आवृत्तियाँ लगभग बारह मेगा चक्र प्रति सैकेन्ड होती है। इसमें लगे हुए चुम्बकों का क्षेत्र लगभग 17,000 हजार गास होता है।

सिन्क्रोट्रान

त्वरित करके एक हजार मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा वाले प्रोटानों को बनाने के लिए, एक ऐसे साइक्लोट्रॉन की आवश्यकता पड़ेगी जिसका विद्युत चुम्बक बहुत विशालकाय हो। साइक्लोट्रॉन में घूमने वाले कणों का मार्ग सर्पिल होता है और इसका अर्द्धव्यास लगातार बढ़ता जाता है। इस प्रकार के साइक्लोट्रॉन बनाने में अधिक लोहे और तांबे के चालक की आवश्यकता होगी। इसके अतिरिक्त विद्युत की खपत भी बहुत अधिक होती है। इन कठिनाइयों को दूर करने के लिए एक दूसरा उपकरण बनाया गया है जिसे **सिन्क्रोट्रान** कहते हैं। इसमें लगा हुआ छल्ले के आकार का चुम्बक होता है और इसके केन्द्र में रिक्त स्थान रहता है। इसका चित्र नीचे दिया गया है।

चित्र-10 सिन्क्रोट्रॉन

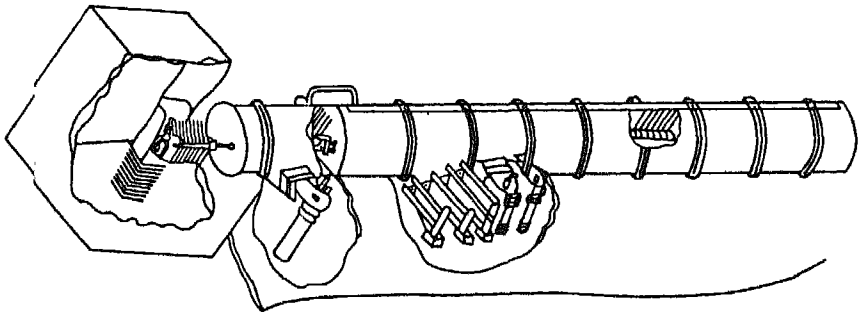
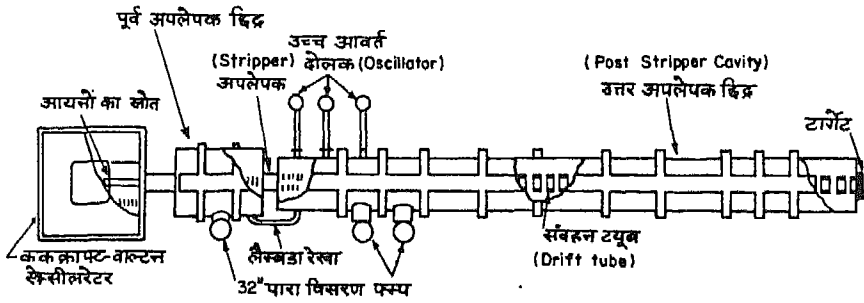
सिन्क्रोट्रॉन में भेजे जाने वाले आयनों को इतना त्वरित कर दिया जाता हैक़ि उनकी ऊर्जा कई मिलियन इलेक्ट्रॉन बोल्ट हो जाती है। इसके उपरान्त इन्हें एक निर्वात कक्ष में भेज दिया जाता है, जहां इनका मार्ग इतना टेमेढ़ा कर दिया जाता है कि यह बलयाकार चुम्बक के ध्रुवों के बीच में पक्रमा करने लगता है। साइक्लोट्रॉन में कणों की परिक्रमा के मार्ग में

लगातार वृद्धि होती रहती है किन्तु सिन्क्रोट्रॉन में त्वरित कण सर्वदा एक ही मार्ग पर घूमते रहते हैं।

जिस समय आवेशित कणों का समूह वलयाकार चुम्बक के क्षेत्र में प्रवेश करता है उस समय चुम्बकीय क्षेत्र कम होता है। आवेशित कण चुम्बक के भीतर चारों ओर परिक्रमा करते हैं और प्रत्येक परिक्रमा पूरी होने से पहले ही, एक त्वरक इलैक्ट्रोड में से होकर निकलते हैं। जिस समय आवेशित कण इस इलेक्ट्रोड में से होकर निकलते हैं, ठीक उसी समय त्वरक इलैक्ट्रोड के ऊपर इतना विभव उत्पन्न कर दिया जाता है कि कणों की ऊर्जा बढ़ सके। प्रत्येक परिपथ में कणों की गति और ऊर्जा, पिछले परिपथ की अपेक्षा अधिक होती है। आवेशित कणों के मार्ग को नियत रखने के लिए वलयाकार चुम्बक के क्षेत्र की शक्ति धीरे-धीरे बढ़ा दी जाती है। अभीष्ट ऊर्जावान हो जाने पर कणों को सिन्क्रोट्रॉन से निकाल लिया जाता है और इन्हें किसी टार्गेट के ऊपर भेज दिया जाता है। इस समय वलयाकार चुम्बक के छल्लों में बहने वाली विद्युत धारा बन्द कर दी जाती है और चुम्बकीय क्षेत्र का मान घट जाता है। आवेशित कणों का एक नवीन समूह सिन्क्रोट्रॉन के भीतर प्रवेश करता है और ऊपर वर्णित समस्त क्रियाएं फिर से दुहराई जाती हैं। कणों का एक समूह त्वरित होकर लगभग तीन सैकेंड में बाहर निकल आता है।

लीनियर ऐक्सीलरेटर

एक लीनियर ऐक्सीलरेटर के चित्र दिए गए हैं। इसकी विशेषता यह है कि इसमें चुम्बकीय क्षेत्र का उपयोग नहीं किया जाता, इसलिए आवेशित कण वक्र मार्ग पर न चलकर एक सीधी रेखा में चलते हैं। प्रारम्भ में वैनडीग्राफ जेनरेटर या किसी अन्य त्वरक यंत्र द्वारा कणों की उर्जा लगभग एक मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट कर दी जाती है। इसके उपरान्त इन कणों को

एक विशाल टैंक के भीतर भेज दिया जाता है। इस टैंक के भीतर केन्द्र में अनेक ट्यूब लटके रहते हैं जिन्हें ड्रिफ्ट ट्यूब कहा जाता है। इन ट्यूबों का सम्बन्ध एक उच्च आवर्त्त वाले दोलक से होता है। जिस समय एक धनात्मक आयन टैंक के अन्दर प्रवेश करता है; उस समय पहले ड्रिफ्ट ट्यूब का आवेश ऋणात्मक होता है इसलिए कण त्वरित हो जाता है। ट्यूब के अन्दर पहुंचने पर कणों के ऊपर विद्युत शक्तियों का प्रभाव नहीं पड़ता।

चित्र-11 लीनियर ऐक्सीलेटर

इसलिए दोलक का आवेश धनात्मक कर दिया जाता है और साथ ही साथ दूसरे ड्रिफ्ट ट्यूब का आवेश ऋणात्मक हो जाता है। इसलिए एक ड्रिफ्ट ट्यूब से निकलकर दूसरे ड्रिफ्ट ट्यूब में जाने पर कण और भी अधिक त्वरित हो जाते हैं। यह क्रिया बार-बार दुहराई जाती है। जिस अनुपात से कणों की गति बढ़ती है उसी अनुपात से ड्रिफ्ट ट्यूबों की लम्बाइयाँ बढ़ा दी जाती हैं।

किसी भी लीनियर ऐक्सीलरेटर में कणों के फोकस करने की समस्या सबसे कठिन है। प्रत्येक ड्रिफ्ट ट्यूब में जिस स्थान पर आयन प्रवेश करते हैं, वहां पर तार की एक ग्रिड लगा दी जाती है। इस ग्रिड के कारण आयन उचित स्थान पर पहुंच जाते हैं। बहुत से आयन ग्रिड के तारों से टकराकर नष्ट हो जाते हैं। आयनों के इस विनाश को रोकने के लिए ड्रिफ्ट ट्यूब के प्रत्येक जोड़े के अन्दर एक चुम्बक रख दिया जाता है। इसका कार्य आयनों को उचित स्थान पर फोकस करना होता है। तत्वों के बनाने के लिए कई प्रकार के लीनियर ऐक्सीलरेटर काम में लाए जाते हैं। इनके द्वारा भारी कण, जैसे ^{12}C, ^{16}O, ^{40}Ar इत्यादि त्वरित किए जाते हैं।

नाभिकीय रिऐक्टर

सारे परायूरेनियम तत्व रिऐक्टर में बनाए गए हैं। रिएक्टर के पांच अंग होते हैं। इन्हें ईंधन, मंदक, शीतक, न्यूट्रान, परावर्तक और नियंत्रण करने वाले छड़ों की प्रणाली कहते हैं। रिऐक्टर के चारों ओर लोहे और कांक्रीट का बना हुआ परिरक्षण होता है। यह रिऐक्टर से निकले हुए विकिरण से रक्षा करता है। रिऐक्टरों के न्यूट्रान परावर्तकों और परिरक्षियों में छिद्र बने होते हैं। टार्गेट द्रव्यों को इन्हीं छिद्रों द्वारा रिऐक्टर के भीतर भेजा जाता है।

रिऐक्टरों के बनाने में नाभिकीय विखंडन का उपयोग किया जाता है। यूरेनियम 233,235 तथा प्लूटोनियम 239 के नाभिक न्यूट्रानों द्वारा

विखंडित होकर श्रृंखला-अभिक्रिया करने लगते हैं। यह मान लेना बिल्कुल गलत है कि श्रृंखला अभिक्रिया द्वारा इन तत्वों के समस्थानिकों का विखंडन हो जाता है क्योंकि अनेक न्यूट्रान व्यर्थ हो जाते हैं। रिऐक्टर के भीतर न्यूट्रानों की गतिविधि विभिन्न प्रकार से हो सकती है। न्यूट्रानों और विखंडनीय नाभिकों के बीच में होने वाली अभिक्रियाओं में से लगभग आधी ऐसी हैं, जिनमें न्यूट्रान नहीं निकलते बल्कि गामा किरणें निकलती हैं। ईंधन के साथ अविखंडनीय पदार्थ भी होते हैं, जो न्यूट्रानों को अवशोषित कर लेते हैं। उदाहरण के लिए यूरेनियम 235 के साथ यूरेनिमय 238 मिला रहता है। यूरेनियम 238 कम ऊर्जावान न्यूट्रान परिग्रहण करने के बाद भी विखंडित नहीं होता। नाभिकीय रिएक्टर बनाने के लिए विखंडनीय तत्व ही नहीं, बल्कि अन्य पदार्थों की भी आवश्यकता पड़ती है। अनेक न्यूट्रान इन पदार्थों के नाभिकों के भीतर चले जाते हैं। विखंडनीय पदार्थ के द्रव्यमान का एक निश्चित आकार होता है, इसलिए अनेक न्यूट्रान अभिक्रिया किए बिना ही बाहर चले जाते हैं। यूरेनियम धातु के ईंधन में विखंडनीय समस्थानिक केवल 0.7 प्रतिशत पाया जाता है। इसलिए अधिक ऊर्जावान न्यूट्रानों में से अधिकांश न्यूट्रान, यूरेनियम के अविखंडनीय नाभिक के भीतर चले जाते हैं। इस प्रकार अभिक्रिया की सम्भावना बहुत कम रह जाती है।

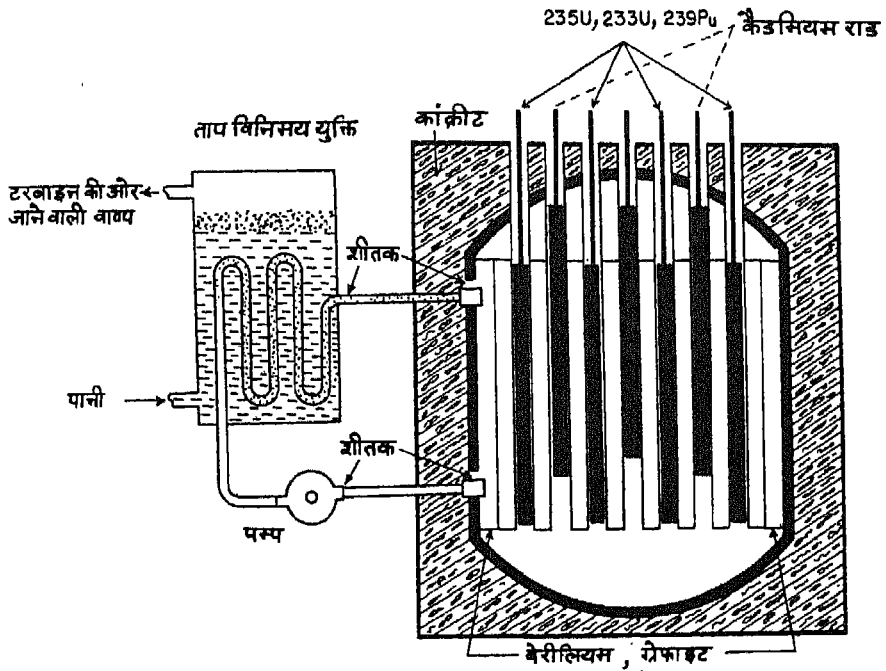
मन्द न्यूट्रानों और विखंडनीय नाभिकों के साथ होने वाली अभिक्रियाओं की सम्भावना, अविखंडनीय नाभिकों और सामान्य न्यूट्रानों के साथ होने वाली अभिक्रियाओं की अपेक्षा लगभग ढाई सौ गुना अधिक होती है। इसलिए रिऐक्टर चालू रखने के लिए यह आवश्यक है कि न्यूट्रानों की गति मन्द कर दी जाये। इसलिए रिऐक्टर में इस्तेमाल होने वाले यूरेनियम की पतली छड़ें या पट्टियाँ बना ली जाती हैं। यूरेनियम को इस आकार में रखने से तीव्र गति वाले न्यूट्रान अभिक्रिया किए बिना ही बाहर निकल आते हैं। ईंधन के चारों ओर ऐसा पदार्थ रखा जाता है जिसमें न्यूट्रानों

की गति मन्द करने की क्षमता पाई जाती है और इसके नाभिक में न्यूट्रान परिग्रहण की सम्भावना कम होती है। इन पदार्थों को माडरेटर या 'मन्दक' कहते हैं। इस कार्य के लिए साधारण पानी का उपयोग किया जा सकता है। किन्तु हाइड्रोजन का **क्रॉस सैक्शन (Cross Section)** 0.3 बार्न होने के कारण पानी इस कार्य के लिए अधिक उपयोगी नहीं होता। नाभिक का जो अंश अभिक्रिया करता है, उसे **क्रास सैक्शन** कहते हैं। यह लगभग 3×10^{-24}वर्ग सेन्टीमीटर होता है। 10^{-24} वर्ग सेन्टीमीटर को एक 'बार्न' कहते हैं। हाइड्रोजन की अपेक्षा हाइड्रोजन के दो भार वाले समस्थानिक ड्यूटीरियम का न्यूट्रान के साथ क्राससैक्शन अत्यंत कम होता है। इसलिए प्राकृतिक यूरेनियम से बनाए गए रिऐक्टरों में भारी पानी (D_2O) या ग्रैफाइट (शुद्ध कोयला) इस्तेमाल किया जाता है। इन माडरेटरों (मंदकों)का कार्य यह है कि न्यूट्रानों की गति कम कर दें, जिससे यह न्यूट्रान यूरेनियम 238 के साथ अभिक्रिया न कर सकें।

ईंधन के लिए इस्तेमाल होने वाले तत्वों की रक्षा के लिए, एल्युमिनियम या टाइटेनियम धातु से इन्हें ढ़क दिया जाता है। ऐसा करने से भी बहुत से न्यूट्रान बेकार हो जाते हैं। इसलिए ये धातुएं अधिक शुद्ध होनी चाहिए और विशेष रूप से ^{10}B या ^{113}Cd तो रहते ही नहीं चाहिए। ईंधन के लिए इस्तेमाल होने वाले तत्वों से निकले हुए ताप को पानी के द्वारा बाहर निकाल देते हैं।

प्रत्येक रिऐक्टर का एक चरम आकार होता है इससे छोटा रिऐक्टर काम नहीं देता। रिऐक्टर के इस आकार को कम करने के लिए, रिऐक्टर को चारों ओर से ग्रेफाइट से ढ़क दिया जाता है और न्यूट्रान वापिस चले जाते हैं।

रिऐक्टर की क्षमता अधिक होने के कारण इस बात का भय बना रहता है कि श्रृंखला क्रिया के कारण यह नष्ट न हो जाये। इसे नियंत्रित करने के लिए न्यूट्रान अवशोषित करने वाली छड़ें बनाई जाती हैं। ये छड़ें इस्पात में

बोरान मिलाकर बनाई जाती हैं। रिऐक्टर के भीतर न्यूट्रानों की औसत आयु एक सैकेन्ड के हजारवें भाग के बराबर होती है। इतने कम समय में रिएक्टर नियंत्रित करने वाली छड़ें रिएक्टर के भीतर नहीं पहुंच पातीं। परन्तु यह देखा गया है कि नाभिकीय अभिक्रिया के प्रारम्भ काल से लेकर एक सैकेंन्ड के दसवें भाग के भीतर बनने वाले न्यूट्रानों की संख्या, समस्त न्यूट्रानों की संख्या की लगभग एक प्रतिशत होती है। इस प्रकार न्यूट्रानों की संख्या बढ़ाने में कुछ समय लग जाता है और इसी बीच में नियंत्रित करने वाली छड़ें रिएक्टर के भीतर पहुंचा दी जाती हैं।

चित्र-12 नाभिकीय रिएक्टर

ताप नाभिकीय संयंत्र

बहुत से कृत्रिम तत्व ताप नाभिकीय विस्फोट द्वारा बनाए जा सकते हैं। इस कार्य के लिए सबसे उपयोगी समस्थानिक ड्यूटीरियम ($^{2}_{1}H$) और ट्रिटियम ($^{3}_{1}H$) हैं। इन नाभिकों की पारस्परिक अभिक्रिया से अत्यधिक ताप उत्पन्न होता है। अभिक्रिया कराने के लिए इन नाभिकों को पास लाना आवश्यक है। यह तभी सम्भव हो सकता है, जब नाभिक कूलम अवरोध पार करके मिश्रनाभिक बना दें। साधारण टक्करों द्वारा कूलम अवरोध पार करने की क्षमता इन नाभिकों में नहीं है। इसलिए इन नाभिकों को इतने उच्च तापक्रम तक इसलिए गरम कर दिया जाता है कि आपस में उग्र टक्करें होने से कूलम अवरोध पार हो जाए। कूलम अवरोध पार होते ही इतनी ऊर्जा निकलती है कि ताप नाभिकीय क्रिया अपने आप होने लगती है। उग्र टक्कर द्वारा कूलम अवरोध पार करने के लिए दस करोड़ सेन्टीग्रेड तापक्रम की आवश्यकता पड़ती है।

यह अभिक्रिया दो प्रकार से पूरी हो सकती है। किसी बड़े विखंडन बम से हल्के नाभिकों को संगलित कर दिया जाये या आयनी कृत गैस को उचित आकार के चुम्बकीय क्षेत्र में रखकर शीघ्रता से संपीडित करने पर इतना ताप उत्पन्न होता है कि इससे हाइड्रोजन के नाभिक संगलित किए जा सकते हैं। इस विधि को 'प्लाजमा फ्यूजन' कहते हैं।

तत्वों की निर्माण विधियाँ

नाभिक के भीतर होने वाले परिवर्तनों से ही किसी नवीन तत्व की रचना नहीं हो सकती। प्रत्येक तत्व की पहचान उसके परमाणु-नाभिक में स्थित प्रोटानों से की जाती है। प्रकृति में उपलब्ध या प्रयोगशाला में निर्मित किसी तत्व को लेकर, उसके नाभिक में प्रोटानों की संख्या बढ़ाई जाती है। इसके

उपरान्त यह निश्चित किया जाता है कि नवनिर्मित समस्थानिक की परमाणु संख्या ज्ञात तत्वों की परमाणु संख्या से भिन्न है या नहीं। नवनिर्मित समस्थानिक के नाभिक में स्थित प्रोटानों की संख्या ज्ञात-तत्वों के प्रोटानों की संख्या से भिन्न होने पर यह निष्कर्ष निकलता है कि कोई नवीन तत्व बन गया है। लक्षित (टार्गेट) तत्व के केवल थोड़े से परमाणु नाभिकीय अभिक्रिया करके नवीन तत्व के परमाणुओं में बदल जाते हैं। इसलिए कुछ ऐसे भी कृत्रिम तत्व पाए जाते हैं, जिनकी मात्रा इतनी कम होती है कि न तो उन्हें तोला जा सकता है और न देखा ही जा सकता है। अतएव नवीन तत्वों के रासायनिक गुणों का अध्ययन प्रचलित विधियों द्वारा नहीं हो सकता। सबसे बड़ी प्रायोगिक कठिनाई इस बात की है कि नवीन तत्व के अध्ययन के लिए बहुत ही कम समय मिल पाता है, क्योंकि बनने के साथ ही साथ इनमें रेडियोऐक्टिव क्षय होने लगता है।

प्रोटानों, हीलियम आयनों अथवा अन्य भारी आयनों को त्वरित करके जो नाभिकीय अभिक्रियाएं की जाती हैं, उन्हें '**आवेशित कणों की अभिक्रियाएं**' कहते हैं। समस्थानिकों के बनाने की दूसरी विधि नाभिक द्वारा न्यूट्रान परिग्रहण करके मिश्र नाभिक बनाने की है। लक्षित (टार्गेट) तत्व का नाभिक एक भारी अपारदर्शी द्रव्य होता है। इसका अर्द्धव्यास लगभग 10^{-12} सेन्टीमीटर होता है। नाभिक का जो अंश अभिक्रिया करता है वह लगभग 3×10^{-24} वर्ग सेन्टीमीटर (3 बार्न) होता है। नाभिक के भीतर कणों के प्रवेश करने के उपरान्त नाभिक की ऊर्जा बहुत बढ़ जाती है। जब यह ऊर्जा नाभिकीय कणों के ऊपर वितरित होती है, तब नाभिक में से कुछ कण निकल कर बाहर आ जाते हैं। नाभिक में ऊर्जा वितरण के अनेक मार्ग हैं, किन्तु तत्व बनाने में इस्तेमाल होने वाले मार्ग बहुत कम हैं। नाभिक के ज्यामितीय अनुप्रस्थ काट (**Transverse Section**) का थोड़ा सा भाग उत्पादन के लिए प्रयोग होता है। नाभिकीय अभिक्रिया में भाग लेने वाले

नाभिक के अनुप्रस्थ काट की मात्रा **मिलीबार्न, माइक्रोबार्न** या इससे भी कम होती है। भारी तत्वों के नाभिकों में परमाणु संख्या बढ़ाने पर उपलब्ध समस्त क्रास सैक्शन का अधिकांश भाग, विखंडन अभिक्रिया में भाग लेने लगता है। उदाहरण के लिए थोरियम के नाभिकों पर हीलियम आयनों की बमबारी करने पर, भूमितीय अनुप्रस्थ काट का केवल दस प्रतिशत भाग यूरेनियम, प्रोटऐक्टिनियम और थोरियम के समस्थानिक बनाने के काम आता है, शेष नब्बे प्रतिशत विखंडन अभिक्रिया में समाप्त हो जाता है। यदि क्यूरियम पर कार्बन या नाइट्रोजन के आयनों की बमवर्षा की जाय तो समस्त अभिक्रियाओं के क्रास सैक्शन के योग का दस लाखवां भाग एक सौ दो तत्व के समस्थानिक बनाने के काम आएगा। इसीलिए भारी तत्वों में क्रास सैक्शन की मात्रा माइक्रो (10^{-6}) बार्न में होती है।

अत्यंत कम ऊर्जावाले न्यूट्रानों को **उष्मीय न्यूट्रान** (थर्मल न्यूट्रान) कहते हैं। हाइड्रोज़न की तरह के हल्के नाभिकों पर टकराने से न्यूट्रानों की गति मन्द पड़ जाती है। इनकी औसत गतिज ऊर्जा उतनी ही होती है, जितनी कि साधारण ताप पर एक परमाणु वाले गैस के परमाणुओं की होती है। ऊष्मीय न्यूट्रानों की औसत ऊर्जा लगभग 0.025 इलेक्ट्रान वोल्ट होती है और इनकी औसत गति 2200 मीटर प्रति सैकेन्ड होती है। न्यूट्रान, कण और तरंग दोनों ही तरह का व्यवहार करता है। न्यूट्रान को एक कण के सदृश्य मान लेने पर जो भूमितीय काट प्राप्त होती है, उसकी तुलना में, इसे तरंग के सदृश्य मान लेने पर, इसकी अभिक्रिया का क्षेत्र बहुत विस्तृत हो जाता है। प्लूटोनियम 239, यूरेनियम 235 तथा यूरेनियम 233 के नाभिकीय विखंडन का क्रास सैक्शन क्रमशः 738 ± 9, 532 ± 6, 582 ± 10 बार्न होता है। उष्मीय न्यूट्रानों द्वारा यह नाभिक विखंडित हो जाते हैं। इन नाभिकों में न्यूट्रानों की संख्या विषम होती है तथा उनमें एक न्यूट्रान जोड़

देने पर, नाभिक के भीतर न्यूट्रानों का एक और जोड़ा बन जाता है। इस प्रकार अधिक बन्धन ऊर्जा प्राप्त हो जाती है और यह उत्तेजन ऊर्जा के रूप में उपलब्ध होती है। विषम न्यूट्रानों वाले नाभिकों में उष्मीय न्यूट्रानों के प्रवेश करने से इतनी अधिक उत्तेजन ऊर्जा प्राप्त होती है कि विभव सम्बन्धी अवरोध समाप्त हो जाता है, और नाभिक विखंडित होने लगता है। यूरेनियम 238 और थोरियम 232 के नाभिकीय विखंडन के लिए तीव्र न्यूट्रानों की आवश्यकता होती है। इन न्यूट्रानों की ऊर्जा लगभग एक मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट होती है।

किरणीयित होने वाले टार्गेट को रिऐक्टर के सक्रिय केन्द्र में रखा जाता है। इस काम में आने वाले रिऐक्टरों के भीतर प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र में न्यूट्रानों की संख्या अधिक होनी चाहिए। यह संख्या कम से कम लगभग 10^{14} न्यूट्रान प्रति वर्ग सेन्टीमीटर प्रति सैकन्ड होनी चाहिए। जैसा कि पहले ही बतलाया जा चुका है कि उष्मीय न्यूट्रानों की ऊर्जा लगभग 0.025 इलेक्ट्रॉन वोल्ट होती है। यदि उष्मीय क्षेत्र में पाए जाने वाले न्यूट्रानों में ऊर्जा का वितरण अनिश्चित हो तो इन्हें **मन्द न्यूट्रान** कहते हैं। इन न्यूट्रानों और यूरेनियम 233, यूरेनियम 235 और प्लूटोनियम 239 के न्यूट्रान परिग्रहण का क्रॉस सैक्शन क्रमशः 56±2, 112±10 तथा 287±13 बार्न होता है। यदि एक ऐसा रेखाचित्र बनाया जाय जिसमें समस्त न्यूट्रान परिग्रहण क्रास सैक्शन को अक्ष के एक ओर और इलेक्ट्रॉन वोल्टों में प्रदर्शित न्यूट्रान ऊर्जा को अक्ष के दूसरे ओर रखा जाये तो वक्र में स्पंदन दिखलाई पड़ते हैं। इसका कारण यह है कि नाभिक में प्रवेश करने पर न्यूट्रॉन की गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) इतनी हो जाती है कि बन्धन ऊर्जा (Bonding Energy) और गतिज ऊर्जा का योग, उत्तेजित (Excited) नाभिक के किसी ऊर्जा स्तर के समतुल्य हो जाता है। न्यूट्रानों पर किसी प्रकार का विद्युत आवेश न होने के कारण वह बड़ी ही सरलता से

नाभिक में प्रवेश कर जाते हैं और नाभिक में अवशोषित होकर अन्य न्यूट्रानों और प्रोट्रानों के साथ नाभिकीय शक्तियों से बंध जाते हैं। इन शक्तियों का परास बहुत ही कम होता है। किसी तत्व के नाभिक में न्यूट्रान के जुड़ने से कोई नया तत्व नहीं बनता, बल्कि उस तत्व का एक नवीन समस्थानिक बन जाता है। प्रत्येक नाभिक तभी स्थिर रहता है, जब कि उसके प्रोटानों और न्यूट्रानों का अनुपात एक निर्दिष्ट संख्या के बिल्कुल निकट हो। नाभिक में एक नवीन न्यूट्रान जुड़ जाने पर यह अनुपात बिगड़ जाता है। इसलिए नवीन नाभिक में स्थिरता लाने के लिए एक न्यूट्रान, प्रोटान में बदल जाता है और एक बीटा कण बाहर निकल आता है। यह नाभिकीय परिवर्तन स्वतः होता है। नाभिकीय परिवर्तन होने में कुछ सैकेन्ड, कुछ मिनट या कई वर्ष लग सकते हैं। नाभिक में न्यूट्रान का अभाव होने पर, एक प्रोट्रान, न्यूट्रान में बदल जाता है और साथ ही साथ एक पाजिट्रान (धनावेशित बीटा कण) भी निकल आता है। कभी कभी न्यूट्रान के अभाव को पूरा करने के लिए, प्रोट्रान, निकटतम कक्षक से एक इलेक्ट्रान ग्रहण करके स्वयं न्यूट्रान में बदल जाता है। इस अभिक्रिया में परमाणु क्रमांक कम हो जाता है। नाभिक में से धनावेशित या ऋणावेशित बीटा कण निकलने पर, नाभिकीय आवेश का संतुलन बिगड़ जाता है और नाभिक के बाहर पाए जाने वाले इलेक्ट्रानों की संख्या में अन्तर पड़ जाता है। ऐसी परिस्थिति में परमाणु आयन के रूप में पाया जाता है। यह आयन आसपास से एक इलेक्ट्रान ले लेता है। इस प्रकार के नाभिकों के बनने की गति, मन्द न्यूट्रानों अथवा पाइल से निकले हुए न्यूट्रानों का परिग्रहण करने वाले नाभिकों के क्रॉस सैक्शन और इन नाभिकों की विखंडन अभिक्रियाओं पर आधारित होती है।

भारी तत्वों के नाभिकों की रचना, मन्द या उष्मीय न्यूट्रानों के परिग्रहण के अतिरिक्त, अनेक न्यूट्रान परिग्रहण विधि द्वारा भी होती है। इस

अभिक्रिया को पूरा करने के लिए रिऐक्टर के प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र में से प्रति सैकेन्ड गमन करने वाले न्यूट्रानों की संख्या 10^{15} से 10^{16} होनी चाहिए। इस विधि द्वारा तत्वों के बनाने में सबसे बड़ी कठिनाई यह है कि अभिक्रिया होते समय, बीच ही में, कुछ ऐसे समस्थानिक बन जाते हैं जिनकी अर्द्ध आयु इतनी कम होती है कि अनेक न्यूट्रान ग्रहण करने पर भी यह इतनी कम मात्रा में पाए जाते हैं कि इनका उचित उपयोग नहीं हो पाता।

नवीन तत्वों की रचना ताप नाभिकीय विस्फोट द्वारा भी हो सकती है। इस अभिक्रिया के कारण निकले हुए न्यूट्रानों की संख्या बहुत बड़ी होती है। नाभिक इन न्यूट्रानों को एक सैकेन्ड से भी कम समय में ग्रहण कर लेता है। रिऐक्टर के भीतर इसी अभिक्रिया को पूरा करने में कई वर्ष या कई मास लगते हैं। ताप नाभिकीय विस्फोट में से निकले हुए न्यूट्रानों की गति इतनी तीव्र होती है कि नाभिक इन्हें अत्यंत कम समय में ग्रहण कर लेता है। इससे एक अन्य लाभ यह है कि बीटा क्षयं की सम्भावना समाप्त हो जाती है। इस प्रकार नाभिक के भीतर अनेक न्यूट्रानों के पहुंच जाने पर अल्प आयु वाले समस्थानिकों की एक श्रृंखला बन जाती है। इन समस्थानिकों में बीटा क्षय होता है और कई नवीन तत्व बन सकते हैं।

टार्गेट के ऊपर आवेशित कणों का प्रहार करके नवीन तत्वों की रचना की जाती है। इस कार्य के लिए आवेशित कण लिए जाते हैं। प्रोट्रान, न्यूट्रान, हीलियम आयन, हीलियम से भारी आयन जैसे कार्बन, नाइट्रोजन या आक्सीजन के आयन साइक्लोट्रॉन में त्वरित किए जाते हैं। हैवी आयन लीनियर ऐक्सीलरेटर तथा अन्य लीनियर ऐक्सीलरेटरों द्वारा नियान तक के समस्त भारी आयनों का समूह त्वरित कर लिया जाता है। त्वरित आयन का भार जितना अधिक बढ़ता जायेगा, उसकी सघनता उतनी ही कम होती जायेगी। टार्गेट और प्रक्षेप, दोनों के ही, नाभिकों में प्रोट्रान पाए जाते हैं।

इसलिए जब दोनों नाभिक एक दूसरे के निकट पहुंचते हैं, तब तीव्र कूलाम्बिक विकर्षण होता है। प्रक्षेप नाभिक का व्यास कम होने के कारण उसकी गतिज ऊर्जा इतनी अधिक हो जाती है कि वह कूलाम्बिक अवरोधों को तोड़कर दूसरे परमाणुओं के नाभिकों के भीतर प्रवेश कर जाता है। टार्गेट नाभिक के भीतर प्रक्षेप नाभिक के पहुंच जाने पर, कम परास वाली नाभिकीय शक्तियां उन्हें परस्पर बांध लेती हैं और एक मिश्र नाभिक बन जाता है जिसमें उत्तेजन ऊर्जा भी पाई जाती है। इस ऊर्जा का उपयोग विखंडन में होता है। मिश्र नाभिक के भीतर होने वाली समस्त अभिक्रियाओं के क्रास सैक्शन का अधिकांश भाग विखंडन में ही समाप्त हो जाता है। इस ऊर्जा की मात्रा, निम्नतर ऊर्जा के स्तर पर पाई जाने वाली ऊर्जा से अधिक होती है, फिर भी यह सम्भव हो सकता है कि नाभिकीय विखंडन न हो। ऐसी अवस्था में उत्तेजन ऊर्जा गामा विकिरण और न्यूट्रान निस्सरण द्वारा नष्ट हो जाती है। यदि यह मान लिया जाये कि नाभिक पानी के बूंद की तरह व्यवहार करता है, तो उत्तेजित नाभिक से न्यूट्रानों का निस्सरण उसी प्रकार सम्भव है जैसे उबलते हुए पानी में से पानी के कुछ परमाणु भाप बनकर बाहर निकल आते हैं। इस प्रकार मूल नाभिक में प्रोट्रानों की संख्या बढ़ाकर एक नवीन तत्व बनाया जाता है। यह तत्व रेडियो धर्मी होता है और स्थिरता प्राप्त करने के लिए एल्फा या बीटा कण निकालता है, या स्वत: विखंडित हो जाता है।

पचास मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट से कम ऊर्जा वाले प्रोट्रानों, ड्यूट्रॉनों और हीलियम आयनों की यूरेनियमोत्तर तत्वों पर जो अभिक्रिया होती है, उसमें विखंडन के अतिरिक्त अनेक कण इधर उधर बिखर जाते हैं। इन कणों के साथ विखंडन अभिक्रिया की सम्भावना अधिक होती है और 'विकीर्णन अभिक्रिया' की संभावना कम होती है। 'विकीर्णन अभिक्रिया' में सम्पूर्ण अभिक्रिया के दसलाखवें भाग का कुछ अंश या इससे भी कम भाग

इस्तेमाल होता है। उत्पाद नाभिक के परमाणु क्रमांक की वृद्धि के साथ-साथ बड़ी तीव्र गति से 'विकीर्णन अभिक्रिया' घटने लगती है। कणों की 'विकीर्णन अभिक्रियाओं' के उत्तेजन फलन, जब अधिकतम सीमा को पार कर जाते हैं, तब अभिक्रिया की सम्भावनाएं पहले की अपेक्षा बहुत अधिक बढ़ जाती हैं। अभिक्रिया के इस उच्च क्रास सैक्शन को 'पूंछ' (Tail) कहते हैं। इससे यह सिद्ध होता है कि ऐसी परिस्थिति में मिश्र नाभिक न बनकर टार्गेट तथा प्रक्षेप नाभिकों में सीधे सीधे प्रतिक्रिया होती है। अल्फा कणों द्वारा नाभिकों पर बमबारी करने से या तो प्रोटान और न्यूट्रान दोनों ही निकलते हैं या केवल न्यूट्रान ही निकलते हैं। इन दोनों अभिक्रियाओं की सम्भावनाएं लगभग समान होती हैं। इन तथ्यों का स्पष्टीकरण इस प्रकार होता है। नाभिक में से अधिक - ऊर्जावान, प्रोट्रानों, ड्यूट्रॉनों या ट्रिटानों के निकल आने पर, अवशेष माध्यमिक नाभिक की उत्तेजन ऊर्जा इतनी कम रह जाती है कि इन नाभिकों में विखंडन अभिक्रिया नहीं हो पाती। भारी तत्वों के क्षेत्र में होने वाली कणों के बिखरने की सम्भावित अभिक्रियाओं के आंकड़ों का स्पष्टीकरण, सीधे सीधे होने वाली अभिक्रियाओं द्वारा किया जाता है। इन अभिक्रियाओं के होने पर उच्च ऊर्जावान कण बाहर निकल आते हैं और मध्यवर्ती नाभिक की ऊर्जा बहुत कम रह जाती है। इस प्रकार टार्गेट और प्रतिक्षेप द्वारा बने हुए अत्याधिक उत्तेजित मिश्र नाभिकों की विखंडन से रक्षा की जाती है। ऐल्फा कणों या न्यूट्रानों की $(\alpha,2n),(\alpha,3n),(d,2n),(d,3n)$ इत्यादि अभिक्रियाओं के उत्तेजन फलनों के शिखर, मिश्र नाभिक की रचना के सामान्य आकार में ठीक ठीक बैठ जाते हैं। पचास मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट से अधिक ऊर्जावान कणों की बमवर्षा साधारणत: यूरेनियमोत्तर तत्वों के बनाने में सहायक नहीं होती है। इनके द्वारा केवल कुछ ऐसे समस्थानिक बनते हैं, जिनमें न्यूट्रानों का अभाव होता है।

हीलियम आयनों या न्यूट्रानों से प्रेरित, भारी तत्वों के साथ होने वाली अभिक्रियाओं के उत्तेजन फलनों को समझाने के लिए आर०सरबर के माडल का उपयोग किया जाता है। अभिक्रिया के इस प्रतिरूप में आपाती प्रतिक्षेप का प्रत्येक अवयव टार्गेट के प्रत्येक न्यूट्रान और प्रोटान से प्रतिक्रिया करके 'नाभिकीय क्रम प्रपात' का आरम्भ करता है। इस नाभिकीय क्रम प्रपात के कण या तो अन्य नाभिकीय कणों से टकराकर अपनी ऊर्जा वितरित कर देते हैं अथवा ऊर्जा की हानि किए बिना या थोड़ी सी ऊर्जा देकर नाभिक के बाहर निकल आते हैं। अभिक्रिया के इस प्रक्रम का परिणाम यह होता है कि अवशेष उत्तेजन ऊर्जा का वितरण बहुत विस्तृत होने के कारण, ऊर्जा का क्षय, कणों के वाष्पीकरण अथवा विखंडन द्वारा होगा। यही कारण है कि यूरेनियमोत्तर तत्वों के ऐसे नाभिकों में, जिनमें न्यूट्रानों का अभाव होता है। 'विकीर्णन अभिक्रिया' की सम्भावना मिलीबार्न से भी कम होती है।

बिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा वाले प्रोटानों के साथ भी इस प्रकार के प्रयोग किए गए हैं। इन प्रयोगों से यह पता चला है कि इस ऊर्जा से पायान नामक कणों की रचना हो सकती है, और यह कण नाभिक में से बाहर निकलने के पहले ही फिर से अवशोषित हो जाते हैं। इसलिए इस उच्च ऊर्जा का उपयोग किसी अन्य प्रक्रम से होता है इसके लिए एक 'संविभजन' विधि प्रस्तावित की गई है। इसमें पायानों की गतिज ऊर्जा तथा स्थिर द्रव्यमान द्वारा स्थानीय तापन होता है और नाभिक विभिन्न आकार के खंडों में विभाजित हो जाता है। इस क्रिया में लगने वाला समय, ऊर्जा के समान वितरण के समय से भी कम होता है। अत्यन्त उत्तेजित खंडों के बनने के कारण नाभिक वाष्पीकृत हो जाता है और टार्गेट की परमाणु संख्या और उत्पादों की परमाणु संख्याओं का अन्तर बहुत अधिक होता है।

□□

6

ऐक्टीनियम सदृश कृत्रिम तत्व

उद्गम :

इन ग्यारह तत्वों में से केवल नेप्टूनियम और प्लूटोनियम प्रकृति में मिलते हैं। यह दोनों तत्व यूरेनियम के अयस्कों में पाए जाते हैं। प्रकृति में उपलब्ध यूरेनियम अयस्कों के ऊपर लगातार न्यूट्रानों की अभिक्रिया होती रहती है। प्राकृतिक अवस्था में मिलने वाले यूरेनियम नाभिक न्यूट्रान परिग्रहण द्वारा नेप्टूनियम और प्लूटोनियम बना देते हैं, किन्तु इन तत्वों की मात्रा बहुत ही कम होती है। ऐसी परिस्थिति में इन दोनों तत्वों की सूक्ष्म मात्रा को यूरेनियम से अलग करना कठिन ही नहीं, बल्कि व्यय वाध्य भी है। इस बात के प्रमाण मिले हैं कि कतिपय आकाशीय पिंडों में भी कुछ यूरेनियमोत्तर तत्व उपस्थित हैं। कुछ नवतारों में भी इस प्रकार के तत्वों के पाए जाने की सम्भावना है। नवतारों में इन तत्वों के पाए जाने का कारण यह हो सकता है कि जब तारे नष्ट होते हैं, तब इतनी ऊर्जा उत्पन्न होती है कि कि छोटे-छोटे नाभिक संगलित होकर भारी तत्वों में बदल जाते हैं।

इन ग्यारह कृत्रिम तत्वों में से प्रत्येक के समस्थानिकों की संख्या एक

से अधिक है। साधारण तत्वों की तरह इनके समस्थानिकों की मात्रा निश्चित नहीं रहती। इसका मान समस्थानिकों की आयु तथा प्राप्यता के साथ साथ बदलता रहता है। इसलिए नीचे की सूची में इन तत्वों के उन्हीं समस्थानिकों का भार दिया गया है जिनकी आयु अधिक है, या जो अधिक मात्रा में बनाए गए हैं।

सारणी—2

परमाणु क्रमांक	नाम और संकेत		परमाणु भार
93	नेप्टयूनियम	Np	237
94	प्लूटोनियम	Pu	242
95	ऐमेरीशियम	Am	243
96	क्यूरियम	Cm	247
97	बर्कीलियम	Bk	249
98	कैलिफोर्नियम	Cf	249
99	आयंस्टीनियम	Es	251
100	फर्मियम	Fm	253
101	मेन्डेलीवियम	Md	256
102	नोबेलियम	No	254
103	लारेंसियम	Lr	257

इन तत्वों के स्थूल गुणों का अध्ययन तभी सम्भव हो सकता है जब ये तुलनीय मात्रा में उपलब्ध हों। इनमें से अनेक तत्व एक ग्राम के करोड़वें भाग के बराबर पाए जाते हैं। निम्नलिखित सूची में दिए गए समस्थानिक इतनी मात्रा में पाए जाते हैं कि उनको तोला जा सकता है और रासायनिक

क्रियाओं में उनका उपयोग किया जा सकता है।

सारणी–3

तत्व	समस्थानिक	अर्द्धआयु
नेप्टूनियम	236	5000 वर्ष से अधिक
	237	2.20×10^{6} वर्ष
प्लूटोनियम	238	86.4 वर्ष
	239	243.60 वर्ष
	240	6580 वर्ष
	241	13.2 वर्ष
	242	3.97×10^{5} वर्ष
	244	7.6×10^{7} वर्ष
ऐमेरीशियम	241	458 वर्ष
	242	152 वर्ष
	243	7950 वर्ष
क्यूरियम	242	162.5 दिन
	243	32 वर्ष
	244	17.6 वर्ष
	245	9320 वर्ष
	246	5480 वर्ष
	247	1.64×10^{7} वर्ष
	248	4.7×10^{5} वर्ष
	250	2×10^{4} वर्ष

बर्कीलियम	247	7×10^3	वर्ष
	249	314	दिन
कैलिफोर्नियम	249	360	वर्ष
	250	10.9	वर्ष
	251	800	वर्ष
	252	2.2	वर्ष
आइंस्टीनियम	253	20	दिन
	254	250	दिन

अब इन तत्वों के मूल स्रोतों का अलग अलग वर्णन किया जायेगा। इनमें से नेप्टूनियम और प्लूटोनियम अधिक मात्रा में पाए जाते हैं। ऐमेरिशियम, क्यूरिम, बर्कीलियम और कैलिफोर्नियम भी इतनी मात्रा में मिले हैं कि इन्हें तोला जा सकता है। किन्तु आइंस्टीनियम और इसके आगे के कृत्रिम तत्व अधिक मात्रा में उपलब्ध नहीं हो सके हैं।

नेप्टूनियम :

प्लूटोनियम बनाने वाले उन रिऐक्टरों में नेप्टूनियम - 237 अधिक मात्रा में पाया जाता है, जिनमें यूरेनियम- 235 तथा यूरेनियम- 238 ईंधन के लिए इस्तेमाल होता है। रिऐक्टर के ईंधन से यूरेनियम और प्लूटोनियम निकाल लेने पर नेप्टूनियम बचा रहता है। इसलिए प्लूटोनियम निकालने वाले संयंत्रों में नेप्टूनियम निकालने की भी व्यवस्था होती है। नेप्टूनियम 236 न्यूट्रान किरणीयन द्वारा नहीं बनता। यह आवेशित कणों की बमबारी द्वारा बनाया जाता है इसलिए यह अधिक मात्रा में नहीं बन पाया है।

प्लूटोनियम :

प्लूटोनियम 239 नाभिकीय रिऐक्टरों में बनाया जाता है। यूरेनियम 235 के

विखंडित होनेपर जो न्यूट्रान निकलते हैं, उन्हें यूरेनियम- 238 के नाभिक ग्रहण कर लेते हैं। इसके उपरान्त बीटा क्षय द्वारा प्लूटोनियम बन जाता है। प्लूटोनियम- 239 के साथ-साथ प्लूटोनियम- 240, -241, -242 भी बनते हैं। न्यूट्रान फ्लक्स तथा किरणीयित करने की अवधि जितनी अधिक होती है, उतनी ही अधिक मात्रा में ये तीनों समस्थानिक बनते हैं। इन तीनों में से सबसे अधिक मात्रा प्लूटोनियम- 242 की होती है। प्लूटोनियम 238 बनाने के लिए नेप्टयूनियम- 237 को रिऐक्टर के भीतर रखकर न्यूट्रानों से किरणीयित करते हैं।

ऐमेरिशियम, क्यूरियम, बर्केलियम, कैलिफोर्नियम और आइंस्टीनियम :

प्लूटोनियम को मन्द न्यूट्रानों से किरणीयित करने पर 95 से लेकर 100 वें तत्व बनते हैं। इस अभिक्रिया में प्लूटोनियम न्यूट्रान परिग्रहण करके मिश्र नाभिक में बदल जाता है और बीटा क्षय द्वारा यह तत्व बन जाते हैं। इन तत्वों को बनाने के लिए ऐसे रिऐक्टरों की आवश्यकता होती है, जिनमें न्यूट्रान फलक्स का मान बहुत अधिक हो। ऐसे रिऐक्टरों मे प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र से प्रत्येक सैकेन्ड में 10^{14} से 10^{15} न्यूट्रान इधर उधर जाते रहते हैं।

प्लूटोनियम बनाने वाले रिऐक्टरों में प्लूटोनियम 241 के साथ साथ ऐमेरिशियम 242 तो बनता ही रहता है, किन्तु साथ ही साथ ऐमेरिशियम - 243 भी बनाया जाता है। ऐमेरिशियम- 241को न्यूट्रानों से किरणीयित करके बीटा क्षय द्वारा क्यूरियम- 242 बनाया जाता है। इसी प्रकार ऐमेरिशियम- 243 से क्यूरियम- 244 की कई ग्राम मात्रा प्राप्त की जा चुकी है।

इसी विधि द्वारा बर्केलियम- 249 और कैलिफोर्नियम -249, -250,

-251, और-252 एक ग्राम के एक लाखवें भाग के बराबर बन पाए हैं। आइंस्टीनियम-253 एक ग्राम के दस लाखवें भाग से भी कम बन पाया है। इन तत्वों की मात्रा इतनी कम होने का कारण यह है कि इनमें स्वत: विखंडन होता रहता है। स्वत: विखंडन के कारण निकलने वाले न्यूट्रानों की संख्या अधिक होने से इनके इस्तेमाल में भी कठिनाई होती है। यदि सौ ग्राम प्लूटोनियम- 242 लेकर रिऐक्टर में रख दिया जाये और दो वर्षों तक ऐसे न्यूट्रानों की बमबारी की जाये, जिनका न्यूट्रानों फ्लक्स 1×10^{15} हो तो केवल दस मिलीग्राम कैलिफोर्नियम- 252 मिल सकेगा।

फर्मियम और उसके आगे :

फर्मियम तथा इसके आगे पाए जाने वाले तत्वों का निर्माण उन रिऐक्टरों के भीतर नहीं हो सकता, जिनमें उच्च न्यूट्रान फ्लक्स मिलते हैं। इन तत्वों के निर्माण की सबसे सफल विधि ताप नाभिकीय विस्फोट है। इसमें इस्तेमाल होने वाले यूरेनियम के नाभिक क्रमश: न्यूट्रान परिग्रहण करते हैं और इसके उपरान्त अनेक अल्प आयु वाले बीटा क्षयों द्वारा फर्मियम बन जाता है। इस अभिक्रिया में न्यूट्रान परिग्रहण की अवधि इतनी कम होती है कि अल्प आयु वाले मध्यवर्ती नाभिक बन ही नहीं पाते। इन तत्वों के समस्थानिक, भारी आयनों की बमबारी द्वारा भी बनाए जाते हैं, किन्तु इस प्रकार जो समस्थानिक बनते हैं उनमें न्यूट्रानों की संख्या अधिक होती है। इसलिए इनकी आयु भी अधिक होती है। इन भारी तत्वों के बनाने के लिए टार्गेट द्रव्य कम मिलता है। साथ ही साथ बनने वाले समस्थानिकों की मात्रा भी कम होती है। इसके अतिरिक्त अल्प आयु वाले पदार्थों को अलग करने की समस्या भी बहुत कठिन है। यही कारण है कि फर्मियम और इसके आगे पाए जाने वाले तत्व अधिक मात्रा में नहीं बन पाए हैं।

यूरेनियम के अयस्कों में प्लूटोनियम-239 तथा नेप्टूनियम -237

समस्थानिक अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में पाए जाते हैं। यूरेनियम-238 के साथ न्यूट्रानों की लगातार होने वाली अभिक्रिया के कारण यह दोनों समस्थानिक बनते रहते हैं। इन न्यूट्रानों की उत्पत्ति यूरेनियम के स्वत: विखंडित होने और रेडियाऐक्टिव पदार्थों से निकले हुए ऐल्फा कणों का हल्के नाभिक वाले तत्वों के साथ अभिक्रिया द्वारा होती है। यूरेनियम के अयस्कों के साथ पाए जाने वाले अन्य पदार्थ न्यूट्रान ग्रहण कर लेते हैं और नेप्टूनियम तथा प्लूटोनियम के समस्थानिक क्षय होने के कारण लगातार कम होते जाते हैं। इस प्रकार न्यूट्रानों की संख्या कम होने तथा इन रेडियोऐक्टिव तत्वों के सतत: क्षय होने के कारण इनकी मात्रा अत्यन्त कम होती है। प्रकृति में उपलब्ध पिचब्लेंड नामक खनिज में यदि यूरेनियम के 10^{12} परमाणु उपलब्ध हों तो इसमें प्लूटोनियम का केवल एक परमाणु होगा। परीक्षण के आधार पर यह पाया गया कि पिचब्लेंड, मोनाजाइट, फर्ग्युसनाइट तथा कार्नोटाइट नामक अयस्कों में यदि यूरेनियम के 10^{12} परमाणु पाए जायें तो ^{239}Pu की संख्या 0.4 और 12 के बीच होगी और नेप्टयूनियम की संख्या इससे भी कम होगी।

कृत्रिम तत्वों के बनाने के प्रयास:

यूरेनियम से आगे पाए जाने वाले तत्वों के बनाने का सबसे पहला प्रयास इटली में रहने वाले कतिपय रसायनज्ञों ने किया। इनमें से एनरिकों फर्मी और एमिलिओं सीग्रे का नाम विशेष रूप से उल्लेखनीय है। इन लोगों ने मन्द न्यूट्रान कणों से यूरेनियम धातु पर प्रहार किया। 1934 में रोम में किए गए इन प्रयोगों द्वारा यह पता चला कि न्यूट्रानों से किरणीयित (Irradiate) होने के उपरान्त यूरेनियम से अनेक रेडियोऐक्टिव पदार्थ प्राप्त होते हैं। इन वैज्ञानिकों का विचार था कि इन रेडियोऐक्टिव पदार्थों में सम्भवत: कुछ ऐसे नवीन तत्व भी उपस्थित हैं, जो यूरेनियम से भी भारी हैं। जर्मनी के निवासी

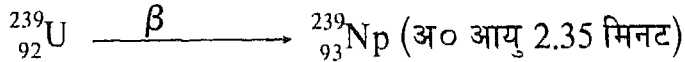
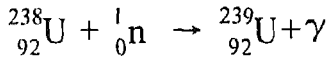
आटो हान, लाइस माइटनर और फ्रिटज़ स्ट्रासमैन नें भी इसी प्रकार के प्रयोग आरम्भ किये। इन लोगों ने अपने प्रयोगों द्वारा फर्मी और उसके सहयोगियों के परीक्षणों की पुष्टि की। हान और स्ट्रासमैन ने 1938 के दिसम्बर मास में, यूरेनियम को न्यूट्रानों द्वारा किरणीयित करके देखा कि उक्त प्रयोग में बेरियम तथा कम भार वाले कई अन्य तत्व मिलते हैं। इस प्रकार यह पता चला कि इस क्रिया द्वारा यूरेनियम लगभग दो समान भागों में विभक्त हो जाता है। विभाजन के उपरान्त बनने वाले तत्वों की पहले ही से जानकारी थी। इस घटना को **नाभिक विखंडन** (Nuclear fission) की संज्ञा दी गई। अब प्रत्येक तत्व के बनाने का विवरण यहां दिया जा रहा है।

नेप्टूनियम :

ई०एम० मैकमिलन नामक अमरीकी वैज्ञानिक ने 1940 की बसन्त ऋतु में न्यूट्रानों के प्रहार से विभाजित यूरेनियम के नाभिक से मिले दो मुख्य प्रतिक्षेपित (recoiling) भागों की ऊर्जा नापने का प्रयास किया। यह प्रयोग बहुत ही साधारण था। यूरेनिमय आक्साइड की एक पतली तह कागज पर फैला दी गई। इसके निकट ही सामने सिगरेट बनाने में इस्तेमाल होने वाला पतला सा कागज रख दिया। कागज पर लिपटे हुए युरेनियम के नाभिकों पर धीमी गति से चलने वाले न्यूट्रान कणों की बमबारी होने पर नाभिक विखंडित हो जाते थे। विखंडन हो जाने पर प्रतिक्षेप के कारण नाभिक के दोनो मुख्य भाग कुछ दूर आगे तक बढ़ जाते थे। गमन पथ की लम्बाइयों द्वारा इनकी ऊर्जा निकालने का प्रयत्न किया गया। यह देखा गया कि नाभिक टूटने पर जितने भी नए तत्व बनते हैं, वे सब यूरेनियम आक्साइड के धरातल से निकल कर अलग हो जाते हैं, और कुछ दूर पर रखे हुए सिगरेट के कागज पर इकट्ठा हो जाते हैं। किन्तु एक अज्ञात रेडियोऐक्टिव पदार्थ यूरेनियम आक्साइड के धरातल में ही पड़ा रह जाता है। मैकमिलन तथा पी०एच० एबेल्सन ने इस पदार्थ का रासायनिक विश्लेषण किया। इन्होंने

1940 में यह बतलाया कि यह रेडियोऐक्टिवता एक नवीन तत्व 93 के कारण है। जब 238 भार वाले यूरेनियम के नाभिक में न्यूट्रान प्रवेश करता है तब यह नाभिक गामा विकिरण निकालता है। इस के उपरान्त एक बीटा (β) कण निकाल कर नवीन तत्व 93 में परिवर्तित हो जाता है। इस नए तत्व की मात्रा प्रत्येक 22.35 दिन के अनन्तर क्रमशः आधी होती जाती है। नाभिकीय क्रिया इस प्रकार होती है।

$${}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U + \gamma$$

$${}^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{93}Np$$ (अ० आयु 2.35 मिनट)

अ० आयु 23.5 मिनट

अधिक मात्रा में न पाए जाने के कारण इस नवीन तत्व के रासायनिक गुणों की खोज प्रचलित रासायनिक रीतियों से न हो पाई, अतएव मैकमिलन और एबेल्सन ने एक नए ढंग से इन गुणों का अध्ययन प्रारम्भ किया। इन प्रयोगों में रासायनिक गुणों और क्रियाओं का अध्ययन अभीष्ट तत्व के रेडियोऐक्टिव समस्थानिक की सूक्ष्म मात्रा लेकर किया जाता है। तत्व के सूक्ष्म मात्रा में भी रहने पर रासायनिक क्रियाओं की गतिविधियों का पता रेडियोऐक्टिव विकिरण की सहायता से लगाया जाता है। रेडियोऐक्टिव विकिरण नापने के लिये कई प्रकार के यंत्र होते हैं, इन्हें **काउन्टर** कहते हैं। यह विधि **ट्रेसर विधि (Tracer Techniques)** कहलाती है और पूर्ण विश्वसनीय है। इसके द्वारा रासायनिक यौगिकों की घुलनशीलता, उपापचयन (Oxidation- Reduction) विभव और संकर आयनों की रचना के सम्बन्ध में आवश्यक सूचनाएं मिल जाती हैं। इस प्रकार किए गए प्रयोगों के आधार पर यह पता चला कि यह नवीन तत्व यूरेनियम से मिलता जुलता है।

द्वितीय विश्व युद्ध से पूर्व प्रकाशित आवर्त तालिका (Periodic Table) में यूरेनियम का स्थान टंगस्टेन के नीचे था। टंगस्टेन के आगे का तत्व रेनियम हैं। इसलिए यह नवीन तत्व 93 रेनियम से मिलना चाहिये, किन्तु यह देखा गया कि यह रेनियम से बिल्कुल नहीं मिलता। इसके गुण यूरेनियम से अवश्य मिलते हैं। इस तथ्य के आधार पर ऐसा अनुमान लगाया गया कि अधिक भार वाले तत्वों की एक नवीन श्रृंखला की खोज की जा सकती है। इस नए तत्व को इस श्रृंखला में रखा जा सकेगा। इन तत्वों की विशेषता यह होगी कि इनके नए इलेक्ट्रान बाह्यतम कोश (Shell) में न जाकर 5f उपकोश में जायेंगे। इस प्रकार इस समूह के नए इलेक्ट्रॉनों का समावेश बाह्यतम कोश में न होकर प्रथम आन्तरिक कोश में होगा। इस प्रकार की प्रवृति 'रेयर अर्थ समुदाय' (Rare Earth Elements) के तत्वों में मिलती है। किसी भी तत्व के रासायनिक गुण बाह्यतम कोश में स्थित इलेक्ट्रॉनों पर निर्भर होते हैं। जिस प्रकार 'रेयर अर्थ समुदाय' के तत्वों की बाहयतम कोश में इलेक्ट्रॉनों की संख्या समान होती है, उसी प्रकार इस सम्भावित श्रृंखला में पाए जाने वाले तत्वों की स्थिति होगी। **इस विचारधारा ने यूरेनियम से आगे बनने वाले सम्भावित तत्वों की खोज का पथ प्रदर्शित किया और नाभिक के बाहर विभिन्न कोशों में स्थित इलेक्ट्रॉनों के** विषय में अधिक जानकारी बढ़ी। साथ ही साथ इन विचारों द्वारा आवर्त तालिका में इस नए तत्व तथा भावी तत्वों को उचित स्थान पर रखने में सहायता मिली। अंतरिक्ष में यूरेनस ग्रह (प्रजापति) के आगे नेप्ट्यून (वरुण) ग्रह है। इसलिए नेप्ट्यून के नाम पर इस तत्व का नाम नेप्ट्यूनियम रखा गया।

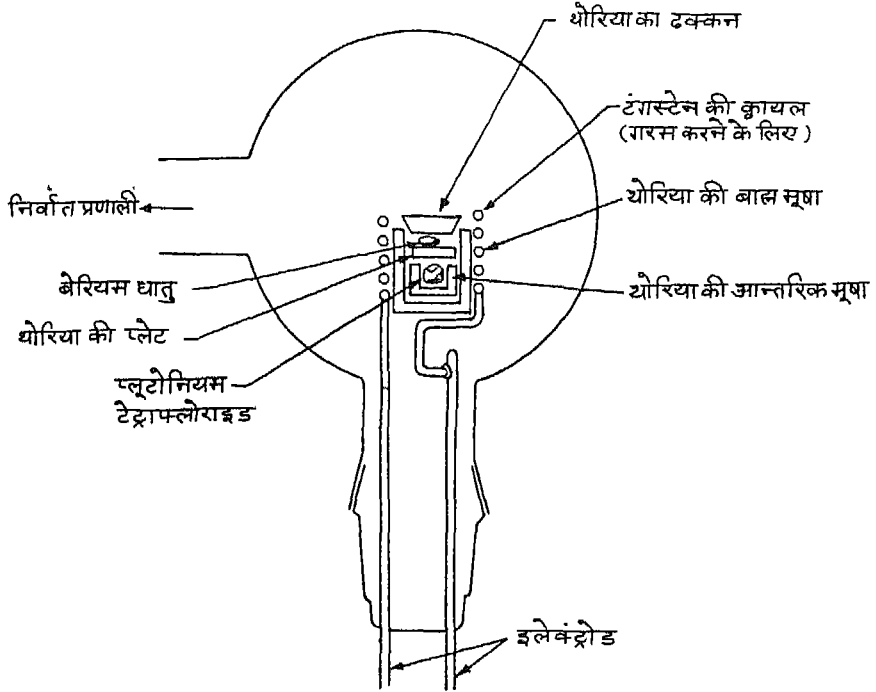
प्रारम्भ में केवल रेडियोऐक्टिव और ट्रेसर विधि द्वारा इस तत्व का अध्ययन किया गया। तुला पर तौलने योग्य नेप्ट्यूनियम की मात्रा प्राप्त करने के लिए यह आवश्यक था कि दीर्घजीवी समस्थानिक तत्व बनाया

जाये। दीर्घजीवी नेप्टूनियम अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में, प्रकृति में पाये जाने वाले यूरेनियम के अयस्कों के साथ मिलता है। यह दीर्घजीवी ।प्ट्यूनियम यूरेनियम के अयस्कों में मिलने वाले यूरेनियम - 238 पर न्यूट्रान की अभिक्रिया द्वारा लगातार बनता रहता है। प्रकृति में होने वाली इस नाभिकीय क्रिया के लिए तीन प्रकार के न्यूट्रान उत्तरदायी हैं। इनमें से कुछ नयूट्रान यूरेनियम के स्वत: विखंडन (Spontaneous fission) से उत्पन्न होते हैं। कुछ मन्द न्यूट्रानों से यूरेनियम - 235 के परमाणु विखंडन के कारण पैदा होते हैं और कुछ हल्के तत्वों पर ऐल्फाकणों की क्रिया से बन जाते हैं। दीर्घजीवी नेप्टूनियम की अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा पिचब्लेंड, मोनाजाइट, फर्ग्यूसइनाइट तथा कार्नोटाइट अयस्कों में भी पाई जाती है। प्रकृति में न मिलने के कारण इसे तैयार करने के लिए द्रुतगामी न्यूट्रान कणों द्वारा किसी भी बड़े 'श्रृंखला रिऐक्टर' (Chain Reactor) में अभिक्रिया कराई जाती है। अभिक्रिया समाप्त होने पर रासायनिक विधियों से इसे अलग कर लेते हैं। फिर भी यह धातु थोड़ी ही मात्रा में पाई जाती है। सर्वप्रथम एल०बी० मैग्नुँसा तथा टी०जे० लाशपेल ने 1944 में दस माइक्रोग्राम नेप्टूनियम बनाया।

प्लूटोनियम - 239 बनाने वाले रिऐक्टरों में यूरेनियम - 235, - 238 ईंधन के रूप में इस्तेमाल होते हैं। इन रिऐक्टरों में नेप्टूनियम - 237 अधिक मात्रा में बन जाता है, परन्तु यह एक अनुपयोगी पदार्थ है। इन रिएक्टरों में यूरेनियम को न्यूट्रानों द्वारा किरणीयित किया जाता है। किरणीयित करने के उपरान्त इसमें यूरेनियम, प्लूटोनियम तथा अन्य रेडियोधर्मी तत्व मिलते हैं, नेप्टूनियम भी इसी के साथ पाया जाता है। इन तत्वों से नेप्टूनियम पृथक करने के लिए कई रासायनिक क्रियाएँ प्रयोग में लाई गई हैं, उनमें से उल्लेखनीय है : घोलक निष्कर्षण, आयन विनियम, उर्द्धपातन और सह-अवक्षेपण। ये रासायनिक क्रियाएँ इस सिद्धान्त पर

आधारित हैं कि विभिन्न आक्सीकरण अवस्थाओं में तत्वों के कतिपय रासायनिक गुण एक दूसरे से भिन्न होते हैं। इन्हीं विभिन्नताओं के आधार पर समान गुण वाले तत्व एक दूसरे से अलग किए जाते हैं। ये तत्व विलयन में बहुत कम मात्रा में पाए जाते हैं। इन्हें अलग करने के लिए कई रासायनिक क्रियाएँ करनी पड़ती हैं। कई रासायनिक क्रियाओं के लिए इन तत्वों की इतनी कम मात्रा अपर्याप्त होती है, इसलिए विलयन में कोई ऐसा यौगिक मिलाया जाता है जो इन तत्वों को भी अपने अवक्षेप में ग्रहण करले। इस प्रकार के यौगिकों को **वाहक (Carrier)** कहते हैं।

नेप्ट्यूनियम धातु बनाने के लिए नेप्टूनियम ट्राईफ्लोराइड को बेरिलिया की एक मूषा (Crucible) में रख दिया जाता है। फिर इसे बेरिलिया से बनी एक दूसरी मूषा में रख दिया जाता है। इन दोनों मूषाओं के भीतर की हवा निकाल कर इन्हें एक बिजली की भट्ठी में रख दिया जाता है। इस भट्ठी में टैंटलम धातु से बने हुए विद्युत अवरोधक तार विशेष प्रकार से लपेटे जाते हैं। मूषा के ऊपर बेरियम धातु रखी जाती है। बेरियम 1200^0 सेन्टीग्रेड पर वाष्प में बदल जाता है। यह वाष्प नेप्टूनियम ट्राईफ्लोराइड में से फ्लोराइड निकाल कर नेप्टूनियम धातु को स्वतंत्र कर देती है। इसके उपरान्त मूषाओं को तुरन्त ठंडा करके यह धातु निकाल ली जाती है। यह चांदी की तरह चमकने वाली धातु है।

इस तत्व के 231 से 241 भार वाले समस्थानिक बनाए जा चुके हैं, जिनमें सबसे दीर्घजीवी 239 हैं, जिसे बनाने वाले वैज्ञानिक हैं : ए०सी० वाल और जी०टी० सीबोर्ग। इसका उपयोग रासायनिक अभिक्रियाओं के अध्ययन में किया जाता है। इसके प्रयोग में सबसे बड़ी कठिनाई यह है कि यह एक घातक पदार्थ है। प्रति घनसेन्टीमीटर में 4×10^{-6} मिलीग्राम $^{237}_{93}Np$ उतना ही घातक होता है, जितना कि प्रतिघन सेन्टीमीटर में उपस्थित दस मिलीग्राम हाइड्रोजन सायनाइड (HCN) होता है।

चित्र-13 नेप्च्यूनियम धातु निष्कर्षण यंत्र

प्लूटोनियम :

अमेरिका के कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय के बर्कले परिसर में नवम्बर 1940 में ए०सी० वाल, जे० डब्ल्यू केनेडी तथा जी०टी० सीबोर्ग ने पैराफिन के एक बड़े से ब्लाक में 1.2 किलोग्राम यूरेनिल नाइट्रेट वितरित करके इसे साइक्लोट्रॉन के अन्दर बेरिलियम टार्गेट के पीछे रख दिया। इस पर दो दिन तक न्यूट्रानों की बमबारी की गई। उक्त यूरेनिल नाइट्रेट को एक

कांच से बने हुए यंत्र में रखा गया। इसमें डाइएथिल ईथर मिलाकर लगातार हिलाने पर यह लवण डाईएथिल ईथर में घुल गया। फिर इसमें लैंथानम और सीरियम के फ्लोराइड मिला दिए गए। कई बार ऐसा करने से इसमें से यूरेनियम अलग हो गया। इस प्रकार जो तत्व मिला, वह प्लूटोनियम का 239 भार वाला समस्थानिक था। यह देखा गया कि यह यूरेनियम की अपेक्षा अधिक विखंडनीय है। अतएव इस गुण के कारण प्लूटोनियम से एक महाघातक आयुध बनाने की सम्भावना बहुत अधिक बढ़ गई और अत्यन्त गोपनीय ढंग से प्लूटोनियम परियोजना का आरम्भ हुआ।

1942 के प्रारम्भ में अमेरिका के शिकागो विश्वविद्यालय की मेटलर्जिकल प्रयोगशाला (Metallurgical Laboratory) में भौतिकी और रसायन के अनेक विद्वानों का सम्मेलन इस उद्देश्य से हुआ कि प्लूटोनियम पृथक किया जाये और नाभिकीय विखंडन का विस्तृत अध्ययन हो। आगे चलकर इस समूह में अनेक अभियंता, जीव विज्ञानवेत्ता तथा डाक्टरों का दल भी सम्मिलित हो गया। गोपनीयता के कारण इस परियोजना का नाम मेटलर्जिकल परियोजना(Metallurgical Project) रखा गया और वैज्ञानिकों के लगभग सत्तर समूह इस परियोजना को पूरा करने के लिए लगाए गए, जो अमेरिका के विभिन्न स्थानों पर कार्यरत थे, जिनकी संख्या लगभग पांच हजार थी। इनमें से लगभग दो हजार लोग शिकागो में कार्य कर रहे थे। नोबेल पुरस्कार विजेता, वाशिंगटन विश्वविद्यालय, सेन्ट लुइस के भौतिकी के प्रोफेसर आर्थर होली काम्पटन को इसका निदेशक बनाया गया। काम्पटन अत्यन्त धार्मिक प्रवृत्ति वाले व्यक्ति थे। युद्ध की विभीषिका और हिंसा से उन्हें घृणा थी, किन्तु उन्होंने द्वितीय विश्वयुद्ध शीघ्र समाप्त होने की संभावना के कारण, इस परियोजना का निर्देशन किया।

यूरेनियम तथा विखंडन उत्पादों से प्लूटोनियम पृथक करने की

समस्या अत्यन्त कठिन थी। एक लाख ग्राम यूरेनियम में पच्चीस ग्राम प्लूटोनियम पाया जाता था। इतने तनु घोल में से इसे अवक्षेपित करना सम्भव नहीं था। ऐसी परिस्थिति में किसी ऐसे यौगिक की खोज़ करनी थी, जो इसे अपने साथ अवक्षेपित कर सके। इस विधि को **सहअवक्षेपण विधि (Coprecipitation)** कहते हैं। विखंडन उत्पादों को पृथक करना आवश्यक था, क्योंकि इनमें से गामा विकिरण बहुत अधिक मात्रा में निकलता था। कार्य करने वाले लोगों के लिये गामा विकिरण बड़ा ही घातक है। इसलिए प्लूटोनियम तथा इससे काम करने वाले लोगों के बीच में एक मोटी दीवाल बनानी पड़ी, ताकि कर्मचारियों की सुरक्षा हो सके। इतना ही नहीं, बल्कि दूर से चालित यंत्रों द्वारा सभी क्रियाएं की जाती थीं। इसके साथ साथ इतनी सावधानी रखनी पड़ती थी कि वहां प्लूटोनियम इतनी अधिक मात्रा में न इकट्ठा हो सके कि नाभिकीय श्रृंखला अभिक्रिया होने लगे और भयानक विस्फोट हो जाये।

उन्नीस सौ तैंतालीस के उत्तरार्द्ध में अमेरिका के टेनेसी राज्य के क्विंटन नामक गांव में एक बहुत बड़े कारखाने का निर्माण कार्य पूरा हुआ, जिसे विश्व विख्यात ड्यूपाँ कम्पनी ने शिकागो विश्वविद्यालय की देखरेख में किया। इस योजना के अन्तर्गत हवा से ठंडा होने वाला ग्रेफाइट रिऐक्टर तथा बिस्मथ फास्फेट विधि द्वारा प्लूटोनियम पृथक करने वाले कारखाने का निर्माण किया गया। कर्मचारियों के निवास के लिए ओकरिज गांव में भवन बनाए गए। आगे चलकर यह कारखाना ओकरिज राष्ट्रीय प्रयोगशाला (Oakridge National Laboratory) के नाम से विख्यात हुआ।

केश नलिकाओं से टेस्ट ट्यूब, पिपेट, ब्यूरेट और अन्य उपकरण इस प्रकार बनाए गए कि 10^{-9} से लेकर 10^{-6} मिली लीटर विलयन लेकर प्रयोग किए जा सकें। नापने के लिए केश नलिकाओं से बने उपकरणों पर

सावधानी से चिन्ह बनाए गए थे। इन केश नलिकाओं का व्यास 0.1 से 9 मिलीमीटर था। इनमें नियंत्रित हवा के दबाव से द्रव बहता था। इन उपकरणों में सूक्ष्म से सूक्ष्म आयतन नापा जा सकता था। प्रयोग में आने वाले ठोस पदार्थों की मात्रा 10^{-7} से लेकर 10^{-4} ग्राम के बीच में ली जाती थी। ठोस तथा द्रव पदार्थों को सेन्ट्रीफ्यूज करके पृथक किया जाता था। समस्त रासायनिक क्रियाएं सूक्ष्मदर्शी यंत्र में देखकर की जाती थीं। प्लूटोनियम निकालने के लिए कई कारखाने 1944 में बनाए गए। ये कारखाने अमेरिका के वाशिंगटन राज्य के हैनफोर्ड गांव में बनाए गए। इस गांव के नाम पर इस कारखाने का नाम 'हैनफोर्ड इंजीनियरिंग वर्क्स' रखा गया। इन कारखानों को दो भागों में विभाजित किया गया था। कारखाने के प्रथम भाग में यूरेनियम से प्लूटोनियम बनाया जाता था। दूसरे प्रकार के कारखाने में यूरेनियम तथा विखंडन उत्पादों से प्लूटोनियम निकाला जाता था। कारखाने के पहले विभाग में यूरेनियम को धातु के बने हुए ऐसे बेलनों के भीतर बंद किया जाता था, जिनपर पानी का प्रभाव न पड़े और विखंडन उत्पाद पानी में न चले जावें। यूरेनियम के इस आवरण को इस प्रकार बनाया जाता था कि यह न्यूट्रानों का शोषण न कर सकें और इनके द्वारा ताप निकल कर पानी में चला जाये। इस प्रकार निर्मित प्लूटोनियम, लास अलामोस प्रयोगशाला में दो फरवरी, 1945 को भेजा गया। इन कारखानों की दीवालें तथा उपकरण भारी भरकम पदार्थों से बनाये गये थे। इनमें से होकर निकलने वाले विकिरण की मात्रा न्यूनतम थी। वास्तविकता तो यह थी कि किसी ने भी कारखाने के अन्दर प्लूटोनियम जाते नहीं देखा था। इसे कारखाने से बाहर निकलते समय ही देखा जा सकता था। अमेरिका के न्यू मैक्सिको राज्य की लास अलामोस प्रयोगशाला में प्लूटोनियम इसलिए भेजा जाता था कि वहां पर इसके नाभिकीय विखंडन का सूक्ष्म से सूक्ष्म अध्ययन हो सके। उक्त प्रयोगशाला के निदेशक डा० ओपेनहाइमर थे।

यहां पर यह भी अध्ययन किया गया कि विस्फोट के लिए प्लूटोनियम की कितनी न्यूनतम मात्रा होनी चाहिए। विस्फोट के समय न्यूट्रानों की संख्या किस गति से बढ़ती है तथा उच्च तापमान पर पदार्थों की अवस्थाओं का भी अध्ययन किया गया था। जब प्लूटोनियम – 239 पृथक कर लिया गया तब इसे पैराफिन मोम से ढक दिया गया। साइक्लोट्रॉन में से निकले हुए छः माइक्रोएम्पीयर के ड्यूट्रॉन कणों का एक समूह बेरिलियम के ऊपर डाला गया। ऐसा करने से नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा न्यूट्रान उत्पन्न हुए। इन न्यूट्रानों की गति मन्द करने के लिए पैराफिन मोम का उपयोग किया गया था। इस नवीन तत्व को मंद न्यूट्रानों से किरणीयित करके यह पता लगाया गया कि इसका नाभिक विखंडनीय होता है अथवा नहीं। इस परीक्षण से यह पता चला कि इस तत्व की नाभिक विखंडन क्षमता यूरेनियम – 235 की अपेक्षा डेढ़ गुनी अधिक है।

वैज्ञानिकों ने अपनी इन उपलब्धियों को गोपनीय रखा और इस नवीन तत्व का नाम ताँबा रख दिया गया। जब एक रासायनिक प्रक्रिया में ताँबा मिलाने की आवश्यकता हुई तो असली ताँबे को Honest to God ताँबा कहा गया। यद्यपि इस तत्व का नामकरण 1942 में ही हो गया था, फिर भी युद्धकालीन गोपनीयता के कारण कुछ तत्वों और उनके समस्थानिकों को नाम के बदले संख्याओं से प्रदर्शित किया जाता था। ये संख्याएं परमाणु क्रमांक और परमाणु मात्रा की अंतिम संख्याएं होती थीं। उदाहरण के लिए 94 तत्व प्लूटोनियम के 239 भार वाले समस्थानिक को 49 कहा जाता था, और इस परियोजना में कार्यरत वैज्ञानिकों को उनचास वाले (Forty Niners) कहा जाता था। इस योजना में कई कठिनाइयां थीं। पहली कठिनाई यह थी कि यूरेनियम नाभिक के विखंडित होने पर इतने ऊर्जावान पदार्थ उत्पन्न हो जाते थे कि इनसे निकलने वाले गामा विकिरण की शक्ति एक लाख क्यूरी तक पहुंच जाती है। विकिरण की इतनी अधिक मात्रा के

साथ कार्य करना अत्यन्त कठिन था और कार्य करने वाले लोगों के स्वास्थ्य सुरक्षा का प्रश्न सर्वाधिक महत्वपूर्ण था। विकिरण के कुप्रभाव से बचाने के लिए सक्रिय पदार्थ और काम करने वालों के बीच में एक भारी दीवाल होती है। इस दीवाल के एक ओर रेडियोऐक्टिव पदार्थ रखे रहते हैं और दूसरी ओर बैठा हुआ वैज्ञानिक सुदूर नियंत्रित स्वचालित यंत्रों की सहायता से, समस्त रासायनिक क्रियाएँ करता रहता है। प्लूटोनियम के कार्य में विकिरण की समस्या ही नहीं है बल्कि प्लूटोनियम स्वयं भी एक अत्यन्त घातक पदार्थ है। इससे अधिक विषैला दूसरा पदार्थ नहीं है। इस धातु के विषैलापन का कारण यह है कि एक मिलीग्राम प्लूटोनियम से प्रतिमिनट 14×10^7 ऐल्फा कण निकला करते हैं और यह मनुष्य के शरीर में ही पड़े रह जाते हैं। यूरेनियम और इसके विखंडन से उत्पन्न पदार्थों को प्लूटोनियम से पृथक करने की समस्या भी कठिन है, क्योंकि एक लाख भाग यूरेनियम में प्लूटोनियम केवल पच्चीस भाग पाया जाता है। प्लूटोनियम की इतनी कम मात्रा को अलग करने के लिए विलयन में **'कैरियर'** मिलाना आवश्यक है। कैरियर के गुण यह होने चाहिये कि प्लूटोनियम इसके साथ सहअवक्षेपित हो सके और अवक्षेप रवेदार और घना हो और साथ ही साथ सरलता से सेन्ट्रीफूज द्वारा या छानकर विलयन से अलग किया जा सके। यह अवक्षेप सरलता से विलेय भी हो जिससे आगे की जाने वाली रासायनिक क्रियाए सरलता से की जा सकें।

अत्यन्त जटिल रासायनिक उपायों से 1943 तक केवल 2 मिलीग्राम प्लूटोनियम धातु बनाई जा सकी थी, किन्तु आज तो समस्त कृत्रिम तत्वों में प्लूटोनियम ही सबसे अधिक मात्रा में बनाया जाता है। प्लूटोनियम धातु बनाने के लिए प्लूटोनियम आक्साइड ($Pu\ O_2$) लिया जाता है। इसकी मात्रा से कुछ अधिक कैल्शियम धातु तथा हाइड्रोफ्लोरिक अम्ल मिलाकर प्लूटोनियम ट्राई फ्लोराइड बनाया जाता है। इसे थोरिया से बनाई हुई मूषा

में रखकर बेरियम धातु द्वारा चौदह सौ सेन्टीग्रेड पर उपचित कर दिया जाता है। यह अभिक्रिया निर्वात वायुमंडल में की जाती है। अनावश्यक बेरियम मूषा के रन्ध्रों में से होकर बाहर निकल आता है। सारा बेरियम निकल जाने पर मूषा को ठंडा कर दिया जाता है। अभिक्रिया में निर्मित बेरियम फ्लोराइड मूषा में शोषित हो जाता है और चमकता हुआ प्लूटोनियम धातु का टुकड़ा दिखाई पड़ने लगता है। यह धातु चांदी की तरह सफेद होती है। इस धातु का घनत्व सोलह ग्राम प्रतिघन सेन्टीमीटर होता है। इसका गलनांक 640^0C होता है। कमरे के साधारण ताप से लेकर गलनांक तक यह धातु छः रूपों में पाई जाती है। एक पौंड प्लूटोनियम की समस्त मात्रा विखंडित होने पर इतनी ताप ऊर्जा उत्पन्न हो सकती है कि इसके द्वारा एक करोड़ किलोवाट पावर विद्युत उत्पन्न की जा सकती है। यह धातु अत्यन्त अभिक्रियाशील है और मिश्र धातुएं भी बनाती है। प्लूटोनियम के यौगिक बनाते समय कई कठिनाइयां सामने आती हैं। प्लूटोनियम की न्यूनतम मात्रा लेकर रासायनिक क्रियाएं पूरा करने के लिए नए रासायनिक तरीके अपनाए गए हैं। प्लूटोनियम से ऐल्फा कण निकलते हैं जो सांस के द्वारा कार्य करने वालों के शरीर के भीतर चले जाते हैं। ये सारे कण शरीर के भीतर पहुंच कर या तो फेफड़ों में चले जाते हैं अथवा अस्थियों के ऊपर जम जाते हैं। इस संदर्भ में इसकी तुलना अत्यन्त स्वास्थ्यघातक पदार्थ रेडियम 226 से की जा सकती है। प्लूटोनियम सबसे अधिक घातक विष है, इसलिए रासायनिक अभिक्रियाऐं करते समय सुदृढ़ आवरण (Shielding) की आवश्यकता पड़ती है। समस्त अभिक्रियाऐं दूर से नियंत्रित यंत्रों के द्वारा की जाती हैं। इस धातु और इसके यौगिकों को रखने के लिए विशेष प्रकार के कक्ष बनाये जाते हैं और सुरक्षा के लिए विशेष प्रकार के दस्ताने लगे हुए बक्स बनाऐ जाते हैं। रासायनिक अभिक्रियाएं विशेष प्रकार की शुष्क पेटियों में की जाती हैं। इस तत्व के

यौगिकों का परीक्षण एक्सरे विवर्तन चित्रों से किया जाता है। इस विधि से यह लाभ होता है कि केवल कुछ घंटों में परीक्षण पूरा हो जाता है और यौगिक भी नष्ट नहीं हो पाता, अन्यथा अन्य विधि द्वारा यह पहचान कई सप्ताह में होती है।

प्लूटोनियम की रासायनिक अभिक्रियाएं सरल नहीं हैं। इसके अनेक यौगिक तथा संकर यौगिक भी बनते हैं। जलीय विलयनों में प्लूटोनियम के यौगिक अनेक रंगों में पाए जाते हैं। विलयन में पाए जाने वाले प्लूटोनियम के आयनों का रंग उनकी आक्सीकरण-अवस्था पर निर्भर होता है।

ऐमेरिशियम:

द्वितीय विश्व युद्ध काल में जब प्लूटोनियम सम्बन्धी गवेषणात्मक कार्य पूरा हो गया, तब वैज्ञानिकों का ध्यान अन्य परायूरेनियम तत्वों की खोज की ओर आकर्षित हुआ। परमाणु बम के निर्माण काल में ए० घिआरसो (A.Ghiorso) का योगदान अत्यन्त उल्लेखनीय है, क्योंकि एक विद्युत अभियंता होने के कारण रेडियोऐक्टिवता मापन करने वाले समस्त यंत्रों के विकास में सदैव उनका हाथ रहा था। घिआरसो, आर० ए० जेम्स (R.A. James) और एल०ओ० मार्गन (L.O. Morgon) की यह धारणा थी कि अन्य परायूरेनियम तत्वों के गुण प्लूटोनियम के समान होंगे और अन्य तत्वों से उन्हें पृथक करने के लिए उपचयन-अपचयन अभिक्रिया का प्रयोग किया जा सकेगा। उनकी यह धारणा भ्रामक सिद्ध हुई। अतएव 1944 में एक अन्य विचारधारा के आधार पर यह निर्णय लिया गया कि परायूरेनियम तत्वों के गुण ऐक्टीनियम से मिलते जुलते होंगे। धीरे धीरे ऐसा आभास होने लगा कि लैंथनम धातु समूह की तरह एक ऐक्टीनियम धातु समूह का भी संश्लेषण हो सकता है।

इस विचारधारा के आधार पर नवीन तत्व, जिनके परमाणु क्रमांक

क्रमशः 95 और 96 होंगे, अवश्य ही आक्सीकरण की तीन अवस्था में सबसे स्थिर आयन बनावेंगे।

इस उद्देश्य से बर्कले के पांच फीट व्यास वाले साइक्लोट्रॉन में से 32Mev ऊर्जा वाले ऐल्फा कणों से दस मिलीग्राम प्लूटोनियम के ऊपर बम वर्षा की गई। बमवर्षा के उपरान्त एक नवीन रेडियोऐक्टिवता पाई गई। इसमें से निकलने वाले ऐल्फा कण 4.7 सेन्टीमीटर दूर तक जाते थे। यह नवीन रेडियोऐक्टिव पदार्थ लैंथानम फ्लोराइड के साथ सह अवक्षेपित हो जाता था। एक अन्य ऐल्फा कण 4.0 सेन्टीमीटर दूर तक जाते थे। यह पता लगा कि चार सेन्टीमीटर दूर तक गमन करने वाले एल्फाकण 95वें तत्व के 241 भार वाले समस्थानिक में से निकलते हैं।

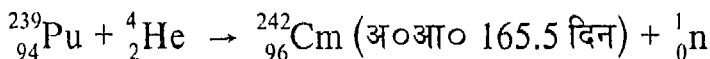
'रेयर अर्थ समूह' के तत्वों में इससे मिलता-जुलता तत्व यूरोपियम है। इस तत्व का नाम यूरोप महाद्वीप के नाम पर रखा गया, अतएव अमेरिका महाद्वीप के नाम पर इस नवीन तत्व का नाम ऐमेरिशियम पड़ा। अब तक ऐमेरिशियम के 237 से लेकर 246 भार तक के समस्थानिक बनाए जा चुके हैं इनमें से सबसे दीर्घजीवी समस्थानिक 243 है, जिसकी अर्द्ध आयु 950 वर्ष है। प्लूटोनियम बनाते समय रिऐक्टर में प्लूटोनियम 241 उचित मात्रा में बन जाता है। ऐमेरिशियम 241 इसके क्षय द्वारा बनता है, किन्तु प्लूटोनियम 241 को दीर्घ काल तक रखना पड़ता है। इसकी अर्द्ध आयु तेरह वर्ष होती है और यह बीटा क्षय द्वारा ऐमेरिशियम बनाता है। ऐमेरिशियम 241 से रासायनिक अभिक्रियाओं का अध्ययन घातक होता है क्योंकि इस समस्थानिक के एक किलोग्राम से प्रति मिनट $7=10^{10}$ ऐल्फा कण निकला करते हैं। ऐमेरिशियम का अन्य समस्थानिक - 242 है, जिसकी अर्द्ध आयु एक सौ वर्ष होती है। रासायनिक अध्ययन की दृष्टि से ऐमेरिशियम - 243 अधिक उपयोगी होता है। इसके दो कारण हैं। एक तो यह है कि अन्य ट्रेसर इसकी अपेक्षा बीस गुना अधिक ऐल्फा कण

निकालते हैं। साथ ही साथ अन्य ट्रेसरों की अपेक्षा यह अधिक शुद्ध पाया जाता है।

ऐक्टीनियम समूह के तत्वों में जिस प्रकार परमाणु संख्या बढ़ती जाती है, उसी प्रकार इनके आक्सीकरण की निम्न अवस्थाओं की स्थिरता भी बढ़ती जाती है। ऐमेरिशियम की सबसे अधिक स्थायी आक्सीकरण अवस्था तीन होती है। यह अवस्था समस्त अम्लों में स्थिर रहती है इसलिए ऐमेरिशियम के गुण रेयर अर्थ समूह की धातुओं के आयनों से मिलते जुलते हैं।

क्यूरियम :

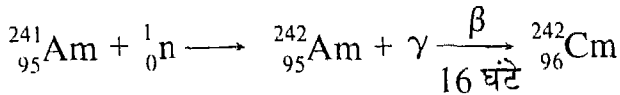
पहले यह बतलाया जा चुका है कि ऐमेरीशियम की खोज के समय 4.7 सेन्टीमीटर दूर तक गमन करने वाले ऐल्फा कण भी प्राप्त हुए थे। यह देखा गया कि यह समस्त रेडियोऐक्टिवता जलीय विलयन में डाइक्रोमेट अथवा सिल्वर परसल्फेट जैसे तीव्र आक्सीकारक द्रव्यों की उपस्थिति में भी लैथनम ट्राई फ्लोराइड के साथ चली जाती थी। इससे यह निष्कर्ष निकला की उपचित करने पर भी इसे उपचयन की छ: अवस्था में नहीं लाया जा सका। विलयन में क्षारीय आक्सैलेट की मात्रा अधिक होने पर यह सारी सक्रियता लैथनम आक्सैलेट के अवक्षेप में चली जाती थी। इससे यह निष्कर्ष निकाला गया कि यह सक्रियता एक नवीन तत्व 96 के समस्थानिक 242 के कारण मिली। निम्नलिखित अभिक्रिया द्वारा इस तत्व का संश्लेषण भी हुआ।

$$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{242}_{96}Cm \text{ (अ०आ० 165.5 दिन)} + ^{1}_{0}n$$

इस नवीन तत्व की खोज की घोषणा 11 नवम्बर, 1945 को की गई।

यह तत्व 'रेयर अर्थ समूह' के तत्व गैडोलिनियम से मिलता है और दो रेडियोऐक्टिव तत्वों के आविष्कर्ता पियेर तथा मैरी क्यूरी के सम्मानार्थ इस तत्व का नाम **क्यूरियम** रखा गया।

इस तत्व का प्रथम यौगिक 1947 में एल०बी० वर्नर और आइसाडोर पर्लमेन ने बनाया, जो क्यूरियम हाइड्राक्साइड था।

प्लूटोनियम को किरणीयित करने के लिए नाभिकीय रिएक्टर के अन्दर रखा जाता है। इस रिएक्टर के भीतर प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र में से होकर जाने वाले न्यूट्रानों की संख्या 10^{14} से 10^{15} अवश्य होनी चाहिए। मन्द न्यूट्रानों की तीव्र बमबारी करने पर प्लूटोनियम का नाभिक एक एक करके अनेक न्यूट्रान ग्रहण कर लेता है। प्रत्येक न्यूट्रान जब नाभिक के भीतर जाता है तब उसमें से बीटा कण निकलने लगते हैं। इन उच्च फ्लक्स रिऐक्टरों में न्यूट्रानों की तीव्र बमबारी के कारण ऐमेरिशियम निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा क्यूरियम दे देता है।

$$^{241}_{95}\text{Am} + ^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow ^{242}_{95}\text{Am} + \gamma \xrightarrow[\text{16 घंटे}]{\beta} ^{242}_{96}\text{Cm}$$

इस प्रकार की अभिक्रियाओं द्वारा इन दोनों तत्वों की कई ग्राम मात्रा बनाई जा चुकी है। अब तक क्यूरियम के 238 से 250 भार वाले समस्थानिक बनाए जा चुके हैं। इनमें से 238 से 242 भार तक के समस्थानिकों को बनाने के लिए प्लूटोनियम 239 पर ऐल्फाकणों से प्रहार किया जाता है। क्यूरियम के अधिक भार वाले समस्थानिकों के बनाने के लिए, क्यूरियम के कम भार वाले समस्थानिक लेकर न्यूट्रान बम वर्षण द्वारा इन्हें अधिक भार वाले समस्थानिकों में बदल दिया जाता है। क्यूरियम के समस्थानिक बनाने के लिए ऐमेरीकियम के नाभिकों को एक उच्च फ्लक्स रिएक्टर में रख देते हैं।

जब इनमें न्यूट्रान प्रवेश करता है तब क्यूरियम के समस्थानिक बन जाते हैं।

क्यूरियम एक बहुत रेडियोऐक्टिव पदार्थ है। इस तत्व की एक मिलीग्राम या इससे भी कम मात्रा इतनी अधिक रेडियोऐक्टिव होती है कि उससे काम करना बहुत ही खतरनाक है। इसलिए इसका अध्ययन दूरचालित यंत्रों द्वारा किया जाता है। एक मिलीग्राम क्यूरियम से प्रति मिनट 7×10^{12} ऐल्फा कण निकलते हैं। इन ऐल्फा कणों की संख्या बहुत अधिक होने के कारण क्यूरियम से जलीय विलयन का **विकिरण-विघटन** (Radiolysis) हो जाता है। पानी के ऊपर विकिरण के प्रभाव से हाइड्रोजन पर ऑक्साइड बन जाती है और रासायनिक क्रियाएं बहुत जटिल हो जाती हैं। ऐल्फा रेडियोऐक्टिवता के कारण यौगिकों के क्रिस्टलों के जालक (lattice) नष्ट हो जाते हैं और साथ ही साथ क्रिस्टलों के ठोस जालक विकृत हो जाते हैं। क्यूरियम उष्मा भी उत्पन्न करता है और एक ग्राम क्यूरियम 242 से निकली हुई ऊर्जा 122 वाट के समतुल्य होती है। इसलिए प्रयोग में क्यूरियम की केवल दो माइक्रोग्राम मात्रा ली जाती है। इस तत्व के साथ किए जाने वाले प्रयोगों में इस बात का ध्यान रखना पड़ता है कि स्वास्थ्य सम्बन्धी खतरा न्यूनतम हो और ताप को नियंत्रित करने का समुचित प्रबन्ध हो। जब 350 मिलीग्राम प्लूटोनियम - 239 के नाभिक 10^{22} न्यूट्रान ग्रहण करते हैं तब 3 मिलीग्राम क्यूरियम बनता है।

क्यूरियम की सबसे स्थिर उपचयन अवस्था तीन होती हैं। इसके रासायनिक गुण 'रेयर अर्थ समूह' के तत्वों से मिलते हैं और ऐमेरीशियम के समान होते हैं। आयन विनिमय विधि द्वारा इन्हें अलग किया जाता है।

क्यूरियम ट्राई फ्लोराइड को बेरियम धातु की वाष्प के साथ 1275 सेन्टीग्रेड पर अपचित करके क्यूरियम धातु बनाई जाती है। यह क्रिया उच्च निर्वात में करनी पड़ती है। क्यूरियम धातु चांदी की तरह श्वेत होती है। इसे पीटकर बढ़ाया जा सकता है। नाइट्रोजन के शुष्क वायुमंडल में यह चमकती

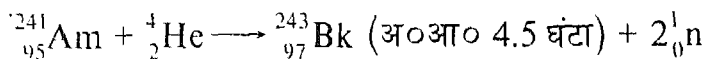
रहती है किन्तु रेडियोऐक्टिवता के कारण यह इतनी अधिक उष्मा उत्पन्न करती है कि शीघ्र ही क्षपित हो जाती है। इसका घनत्व प्रतिघन सेन्टीमीटर सात ग्राम होता है।

बर्कीलियम :

क्यूरियम से आगे बनने वाले तत्वों को पराक्यूरियम (Transcurium) तत्व भी कहा जाता है। यह तत्व ऐमेरीशियम या क्यूरियम के ऊपर कणों की बमबारी करके बनाए जाते हैं। इसलिए ऐमेरीशियम या क्यूरियम के टार्गेट बनाए जाते हैं। इन तत्वों के बनाने में दो मूल कठिनाइयां हैं। पहली कठिनाई विकिरण सम्बन्धी है। ऐमेरीशियम तथा क्यूरियम से निरन्तर सघन ऐल्फा कण निकलते रहते हैं, जो स्वास्थ्य के लिए बहुत ही घातक हैं। इन दोनों तत्वों की मिलीग्राम से भी कम मात्रा इतनी हानिकारक है कि विकिरण से बचने के लिए समुचित परिरक्षण का होना आवश्यक होता है। साथ ही साथ दूर से नियंत्रित यंत्रों की सहायता से समस्त अभिक्रियाएं करनी पड़ती हैं। दूसरी कठिनाई यह है कि इन टार्गेट तत्वों से बनने वाले तत्व इनके साथ ही अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में पाए जाते हैं। अतएव बहुत अधिक मात्रा वाले तत्व में से अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा वाले तत्व को अलग करना एक कठिन समस्या है। इसके अतिरिक्त अत्यधिक रेडियोऐक्टिव पदार्थों की उपस्थिति में कम रेडियोऐक्टिव पदार्थों की पहचान करने की विधियों की जानकारी भी आवश्यक है।

बर्कीलियम बनाने के लिए साइक्लोट्रॉन में त्वरित पैंतीस मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट ऊर्जावान ऐल्फा कणों से कुछ मिलीग्राम ऐमेरीशियम 241 के ऊपर बमबारी की गयी। क्रिया समाप्त होने पर ऐमेरीशियम टार्गेट उपचयन की छठीं अवस्था में उपचयित कर दिया गया। ऐमेरीशियम उपचयन की इस अवस्था तथा फ्लोराइड आयनों की उपस्थिति में विलयन

में ही पड़ा रहता है और अवक्षेपित नहीं होता। विलयन में कुछ ऐसे सक्रिय पदार्थ हैं जो उत्तेजित और संपरिवर्तित इलेक्ट्रानों (Auger and Conversion Electrons) के कारण पाए जाते हैं। यह सक्रियता रेयर अर्थ फ्लोराइडों के साथ सहअवक्षेपित कर ली जाती है। फिर आयन विनिमय रेजिन द्वारा इसे अन्य अशुद्धियों से अलग कर लिया जाता है। यह नाभिकीय अभिक्रिया इस प्रकार होती है :

$$^{241}_{95}Am + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{243}_{97}Bk \text{ (अ०आ० 4.5 घंटा)} + 2^{1}_{0}n$$

एस०जी० थाम्पसन, घियार्सो तथा सीबोर्ग ने दिसम्बर 1949 में इस तत्व को बनाया। इस तत्व का क्षय कक्षीय इलेक्ट्रॉन परिग्रहण द्वारा होता है। चूँकि नए रेडियोऐक्टिव तत्व अमरीका के कैलिफोर्निया राज्य के बर्कले नगर में बनाए गए। इसलिए बर्कले नगर के नाम पर इस तत्व का नाम **बर्केलियम** रखा गया।

बर्केलियम के 243 से 250 भार तक के समस्थानिक बनाए जा चुके हैं। रासायनिक अध्ययन के लिए बर्केलियम - 247 (अ० आ० 7×10^3 वर्ष)तथा बर्केलियम 249 (अ० आ० 270 दिन) उपयोग में आते हैं। बर्केलियम -249 बीटा सक्रिय है और क्षय होने पर कैलिफोर्नियम - 249 में बदल जाता है। इसकी अर्द्ध आयु चार सौ वर्ष होती है। बर्केलिमय - 243 कई मिलीग्राम बनाया जा चुका है। बर्केलियम के स्थूल गुणों का अध्ययन, इसके 249 समस्थानिक की तौलने योग्य मात्रा लेकर किया जाता है। यद्यपि तोलने योग्य मात्रा से इतना अधिक विकिरण निकलता है कि काम करना कठिन हो जाता है।

बर्केलियम तत्व को बनाने के लिए ऐमेरीशियम 241टार्गेट लिया जाता है। किरणीयित टार्गेट को नाइट्रिक अम्ल के छः मोलर विलयन में 75^0

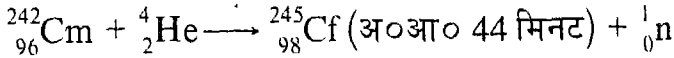
से० पर गरम किया जाता है। टार्गेट के विलेय हो जाने पर विलयन में अमोनियम हाइड्रॉक्साइड की अधिक मात्रा मिलाई जाती है। इससे ऐमेरिशियम हाइड्रॉक्साइड का अवक्षेप बन जाता है। इस अवक्षेप को नाइट्रिक अम्ल के 0.1 मोलर विलयन में विलेय करने के उपरान्त अमोनियम पर आक्सीडाई सल्फेट का 0.2 मोलर विलयन मिलाया जाता है। इस मिश्रण को डेढ़ घंटे तक 75⁰C पर गरम करते हैं। इस क्रिया में ऐमेरिशियम (III) का आक्सीकरण नहीं होता इसलिए हाइड्रोफ्लोरिक अम्ल मिलाकर ऐमेरीशियम ट्राईफ्लोराइड अवक्षेपित कर लिया जाता है। इसी अवक्षेप के साथ क्यूरियम, बर्केलियम और रेयर अर्थ समूह के विखंडन उत्पाद भी सहअवक्षेपित हो जाते हैं। ऐमेरिशियम ट्राईफ्लोराइड के अवक्षेप में कास्टिक पोटाश का छः मोलर विलयन मिलाया जाता है। अभिक्रिया समाप्त हो जाने पर परक्लोरिक अम्ल की थोड़ी मात्रा में इसका विलयन बनाया जाता है। डॉवेक्स 50 घनायन विनिमय रेजिन के स्तम्भ के ऊपर इस विलयन को भर देते हैं। इस स्तम्भ का तापमान 87⁰ से० पर रखा जाता है। धातुओं के आयन स्तम्भ पर अधिशोषित हो जाते हैं। अमोनियम साइट्रेट के 0.25 मोलर विलयन में इतना साइट्रिक अम्ल मिलाया जाता है कि विलयन का पी एच 3.5 हो जाये। अधिशोषित आयनों को निकालने के लिए इस विलयन को स्तम्भ के ऊपर भर देते हैं। प्रतिबन्ध यह है कि प्रत्येक दो मिनट में स्तम्भ से विलयन की केवल एक बूंद निकलती रहे। टर्बियम और गैडोलिनियम के साथ साथ बर्केलियम भी निकलता है। हाइड्रोक्लोरिक अम्ल मिलाकर यह विलयन अम्लीय किया जाता है और इसे डॉवेक्स 50 रेजिन स्तम्भ के ऊपर भर देते हैं। अधिशोषित हो जाने के बाद हाइड्रोक्लोरिक अम्ल के 12.5 मोलर विलयन द्वारा बर्केलियम को रेजिन में से निकाल लिया जाता है, क्योंकि लैंथनम समूह के तत्वों की तुलना में बर्केलियम अधिक शीघ्रता से निकल आता है।

बर्केलियम की रासायनिक अभिक्रियाएं बहुत अधिक विकसित नहीं हो पाई हैं, फिर भी इसकी आक्सीकरण अवस्थाओं के सम्बन्ध में अच्छी जानकारी प्राप्त है। इस तत्व की तृतीय आक्सीकरण अवस्था को निश्चित करने के लिए यथेष्ट प्रमाण भी मिलते हैं। यह तत्व लैंथनम ट्राई फ्लोराइड और लैंथनम ट्राई हाइड्राआक्साइड के साथ सहअवक्षेपित होता है। बर्केलियम के नाइट्रेट, क्लोराइड, सल्फेट, परक्लोरेट तथा सल्फाइड पानी में विलेय होते हैं। बर्केलियम को टीटीए और बेन्जीन के मिश्र विलयन में, जिसका पीएच चार हो, निकाल लिया जाता है। बर्केलिमय को हाइड्रोक्लोरिक अम्ल से प्रतिशोषित करने पर ऐसा प्रतीत होता है कि क्लोराइड के आयन इस धातु के साथ संकर यौगिक बनाते हैं। जब नाइट्रिक अम्ल के 7 मोलर विलयन में सोडियम ब्रोमेट का 0.1 मोलर विलयन मिला होता है अथवा नाइट्रिक अम्ल के 5 मोलर विलयन में सोडियम डाईक्रोमेट का 0.9 मोलर विलयन मिला होता है, तब जरकोनियम फास्फेट या सीरियम (IV) आयोडेट के साथ बर्केलियम सहअवक्षेपित हो जाता है। इस अभिक्रिया से यह पता चलता है कि बर्केलियम आक्सीकरण की चतुर्थ अवस्था में भी पाया जाता है। बी०बी० कनिंघम और एस० जी० थाम्पसन ने 1958 में इतनी मात्रा में बर्केलियम - 249 तैयार किया कि यह तौला जा सका। इसे बनाने के लिए न्यूक्लियर रिऐक्टर में प्लूटोनियम - 239 रखा गया। इसे बहुत अधिक समय तक न्यूट्रानों से किरणीयित किया गया। कनिंघम और वालमैन ने 1962 में बर्केलियम डाईआक्साइड बनाया, जिसका भार 0.02 माइक्रोग्राम था। इस यौगिक की पहचान एक्सरे विवर्तन द्वारा की गई। इस प्रयोग के लिए इस यौगिक की दो नानोग्राम (2×10^{-9} ग्राम) मात्रा ली गई थी।

कैलिफोर्नियम :

साठ इंच व्यास वाले साइक्लोट्रान में हीलियम आयनों को इतना त्वरित कर

दिया गया कि उनकी ऊर्जा 35 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट हो गई। इसके उपरान्त क्यूरियम - 242 की कुछ माइक्रोग्राम (10^{-6} ग्राम)मात्रा लेकर, उसके ऊपर इन ऐल्फा कणों की बमबारी की गई। जैसे बर्केलियम पृथक करने के लिए आयन विनिमय विधि का उपयोग किया गया था, ठीक उसी प्रकार क्यूरियम से कैलिफोर्नियम अलग करने की विधि अपनाई गई। क्यूरियम से पूर्व जो द्रव पदार्थ रेजिन स्तम्भ से निकल कर बाहर आया, उसके ऐल्फा कणों की गणना की गई। यह पता चला कि एक नवीन समस्थानिक बन गया है, जो ऐल्फा कणों के निष्कर्षण तथा कक्षीय इलेक्ट्रान परिग्रहण द्वारा क्षय होता है। इसकी अर्द्ध आयु 44 मिनट है। इस विधि से 98 तत्व की पहचान फरवरी, 1950 में एस०जी० थाम्पसन, के० स्ट्रीट, ए० घियारसो तथा सीबोर्ग ने की। यह नाभिकीय अभिक्रिया इस प्रकार होती है।

$$^{242}_{96}Cm + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{245}_{98}Cf \text{ (अ०आ० 44 मिनट)} + ^{1}_{0}n$$

कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय तथा कैलिफोर्निया राज्य के नाम पर इस तत्व का नाम **कैलिफोर्नियम** रखा गया। इससे मिलता जुलता रेयर अर्थ समूह का तत्व डायसप्रोजियम है। डायसप्रोजियम यूनानी भाषा का शब्द है, जिसका अर्थ होता है कठिनाई से पहुंच पाना। यहां पर यह बतला देना तर्कसंगत होगा कि लगभग एक शताब्दी पूर्व अनेक लोग कैलिफोर्निया की ओर इसलिए दौड़े कि वहां पर सोना पाया गया था, परन्तु सोने की खानों तक पहुंच पाना बड़ा ही कठिन कार्य था।

इस तत्व के 244 भार से लेकर 254 भार तक के समस्थानिक बनाए जा चुके हैं, जिनमें से अधिक दीर्घजीवी समस्थानिक हैं :

^{249}Cf (अ०आ० 360 वर्ष), ^{250}Cf (अ०आ० 10.9 वर्ष),
^{251}Cf (अ०आ० 800 वर्ष), ^{252}Cf (अ०आ० 2.2 वर्ष),

इस तत्व के अन्य समस्थानिक अत्यल्प आयु के हैं। इस तत्व के गुणों का अध्ययन कैलिफोर्नियम 249 द्वारा किया गया। यह तत्व इतनी अधिक रेडियोऐक्टिवता उत्पन्न कर देता है कि इससे कार्य करने के लिए बहुत ही सावधानी रखनी पड़ती है। एक माइक्रोग्राम (10^{-6} ग्राम) कैलिफोर्नियम 252 से प्रति मिनट 2×10^{8} न्यूट्रान कण निकलते हैं। अतएव कैलिफोर्नियम - 252 या - 254 के साथ कार्य करते समय न्यूट्रान परिरक्षण की आवश्यकता पड़ती है। साथ ही साथ दूरचालित यंत्रों से रासायनिक अभिक्रियाएं की जाती हैं। कैलिफोर्नियम - 249 के साथ न्यूट्रॉन निष्कर्षण की समस्या नहीं है क्योंकि स्वतः विखंडित होकर क्षय होने में यह बहुत समय ले लेता है।

कैलिफोर्नियम के उच्च भार वाले समस्थानिक न्यूट्रॉन परिग्रहण विधि द्वारा बनाए जाते हैं। टार्गेट को एक ऐसे रिएक्टर में रखा जाता है जिसमें न्यूट्रानों की संख्या अधिक होती है और अधिक समय तक टार्गेट को किरणीयित करते हैं। इस कार्य में पहली कठिनाई यह है कि इस परिवर्तन के समय भारी समस्थानिक विखंडन क्रिया द्वारा नष्ट होते रहते हैं। दूसरी कठिनाई यह है कि कुछ मध्यवर्ती समस्थानिकों की आयु इतनी कम होती है कि वह पर्याप्त मात्रा में समस्थानिक नहीं बना पाते।

आइंस्टीनियम और फर्मियम :

संयुक्त राष्ट्र अमेरिका ने एक नवम्बर, 1952 को प्रशांत महासागर में एक तापनाभिकीय परीक्षण किया था। इस संयंत्र के मलबे को इकट्ठा करके उसका रासायनिक विश्लेषण किया गया। अमेरीका में शिकागो स्थित आर्गान राष्ट्रीय प्रयोगशाला तथा लास अलामोस स्थित राष्ट्रीय प्रयोगशालाओं में किए गए विश्लेषणों के आधार पर यह पता चला कि यूरेनियम 238, लगातार अनेक न्यूट्रान परिग्रहण करके नवीन समस्थानिक

बनाता है। ताप नांभिकीय परीक्षण के समय 10^{-6} सैकन्ड में न्यूट्रान परिग्रहण की यह क्रिया समाप्त हो जाती है। इस प्रकार बनने वाले यूरेनियम के भारी नाभिकों का क्षय बीटा कणों के निकलने से होता है। इससे प्लूटोनियमं के 244 तथा 246 समस्थानिक भी बन गए थे। विलयन का आयन विनिमय विधि द्वारा विश्लेषण करने पर एक नवीन तत्व के अस्तित्व का पता लगा। जिस क्षेत्र में ताप नाभिकीय विस्फोट हुआ था, उसके आस पास में स्थित कई टन मूंगे की चट्टानों को इकट्ठा किया गया। बिस्मथ फास्फेट के साथ ऐक्टीनियम सदृश तत्वों के त्रिधनात्मक आयन अवक्षेपित किए गए। इसके उपरान्त आयन विनिमय विधि से ये दोनों नवीन तत्व पृथक किए गए। इन्हें डावेक्स - 50 नामक रेजिन के ऊपर 87^0 सेन्टीग्रेड पर अधिशोषित किया गया। अमोनियम साइट्रेट के विलयन द्वारा इन दोनों तत्वों को रेजिन से बाहर निकाला गया। इस विलयन में से 99 वें तत्व का 253 भारवाला, तथा 100वें तत्व का 255 भार वाला समस्थानिक प्राप्त हुआ। 99 वें तत्व की अर्द्ध आयु बीस दिन थी और इससे 6.6 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा वाले ऐल्फा कण निकल रहे थे। 19-20 दिसम्बर, 1952 को यह तत्व अलग किया गया। इसी प्रकार 1 मार्च, 1955 को 100वें तत्व का 255 भार वाला समस्थानिक भी अलग किया गया। इसकी अर्द्ध आयु बाईस घंटे थी तथा इससे निकलने वाले ऐल्फा कणों की ऊर्जा 7.1MeV थी। 99 वें तत्व की पहचान के लिए लगभग पांच हजार परमाणु तथा 100 वें तत्व के परिचयन के लिए केवल दो सौ परमाणु उपलब्ध थे। 99 वें तत्व का नाम अलबर्ट आइंस्टाइन के नाम पर **आइंस्टीनियम** रखा गया और एनरिको फर्मी के नाम पर 100वें तत्व का नाम **फर्मियम** रखा गया। इन तत्वों.के खोजकर्त्ता थे :

ए० घियार्सो (A. Ghiorso), एस०जी० थाम्पसन (S.G. Thompson), जी० एच० हिगिन्स (G.H.Higgins), जी०टी० सीबोर्ग (G.T.

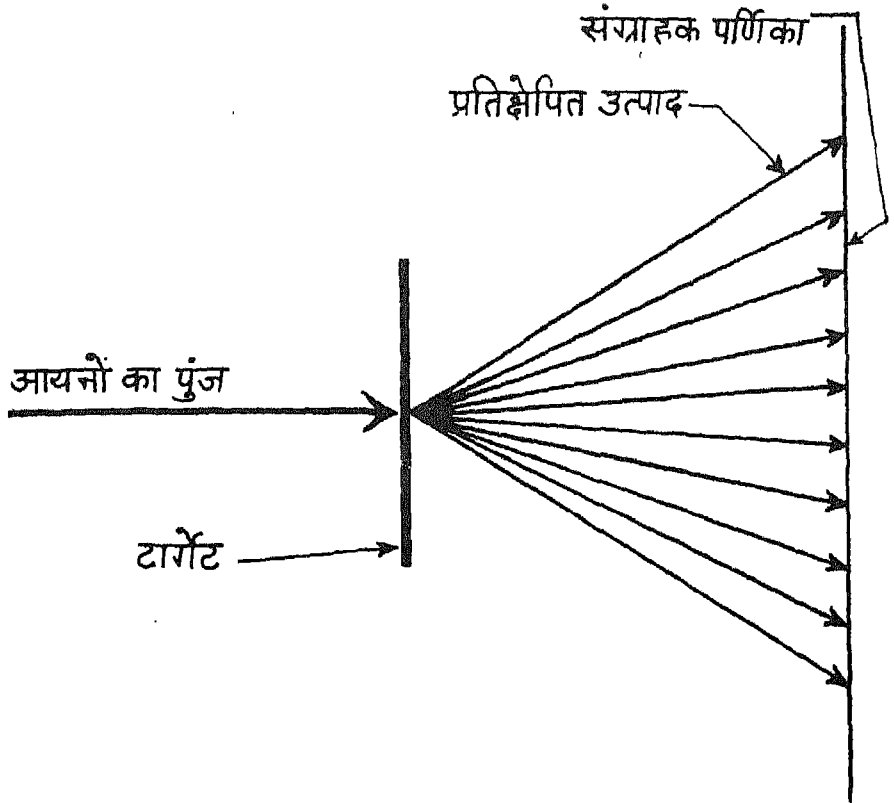
Seaborg), एम०एच० स्टूडियर (H.M. Studier), पी० आर० फील्ड्स (P.R. Fields), एस.एम. फ्राइड (S.M. Fried), एच० डायमैन्ड (H. Diamond), जे०एफ० मेक (J.F. Mech), जी०एल० पाइल (G.L. Pyle), जे० ह्यूजेगा (J. Huizenga), ए० हिर्स (A. Hirsch), डब्ल्यू० एम० मैनिंग (W.M. Manning), सी० आई० ब्राउन्स (C.I. Browns), एच० एल० स्मिथ (H.L. Smith) तथा आर० डब्ल्यू० स्पेन्स (R.W. Spence)।

ताप नाभिकीय विस्फोट के समय यूरेनियम अधिक मात्रा में उपलब्ध था। इस पर अत्यंत कम समय तक सघन न्यूट्रानों की बमबारी होती रही। यह समय लगभग 10^{-6} सैकन्ड के बराबर था। यूरेनियम के नाभिक लगातार न्यूट्रान परिग्रहण करते गए और अत्यन्त भारी नाभिक बन गया। बीटा क्षय होने पर यह नवीन तत्वों के भारी समस्थानिकों में बदल गया।

एक अन्य विधि में कई ग्राम प्लूटोनियम को अत्यधिक न्यूट्रानों द्वारा कई वर्ष तक किरणीयित किया जाता है। न्यूट्रानों के लगातार परिग्रहण द्वारा आइंस्टीनियम और फर्मियम बन जाते हैं। आइंस्टीनियम तथा फर्मियम की रेडियोऐक्टिवता इतनी अधिक है कि इसका अध्ययन बहुत कठिन है।

मैंडेलीवियम :

अब तक जितने भी रेडियोधर्मी कृत्रिम तत्वों का वर्णन किया जा चुका है, वे सब के सब किसी न किसी टार्गेट द्रव्य से बनाए गए। ये टार्गेट द्रव्य इतनी मात्रा में उलपब्ध थे कि उन्हें तोला जा सकता था, किन्तु मेंडेलीवियम के संश्लेषण के लिए आइंस्टीनियम के केवल दस करोड़ परमाणु उपलब्ध थे, अतएव इनका भार ज्ञात करना असम्भव था। यह समस्या निम्नलिखित ढंग से सुलझाई गई। यदि आइंस्टीनियम - 253 के उपलब्ध परमाणुओं की

संख्या को 'N' से अभिक्रिया की सम्भावना को 'σ' से, बमबारी करने वाले समस्त हीलियम आयनों को 'I' से और बमबारी काल को 't' से प्रदर्शित किया जायें, तो उपलब्ध नवीन तत्व के परमाणुओं की संख्या 'N' होगी। अतएव $N \cong N^{1} \sigma I t$ होगा। यहां पर आइंस्टीनियम के उपलब्ध परमाणु

चित्र-14 प्रतिक्षेपण विधि

10^9 थे। अभिक्रिया की संभावना लगभग10^{-27} वर्ग सेन्टीमीटर में थी। प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र में से गमन करने वाले ऐल्फा कणों की संख्या 10^{14} थी। ऐल्फा कणों से आइंस्टीनियम परमाणु को 10^4 सैकन्ड तक किरणीयित किया गया। अतएव इन संख्याओं को ऊपर के व्यंजक में रखने पर

$N \cong (10^9)(10^{-27})(10^{14})(10^4)$

$\cong$ 1 के बराबर प्राप्त हुआ।

इस प्रकार यह देखा गया कि दस करोड़ आइंस्टीनियम के परमाणुओं से मेंडेलीवियम का एक परमाणु प्राप्त होता है। इसकी अर्द्ध आयु लगभग एक घंटा होगी। अतएव आयन विनिमय विधि द्वारा इसे एक घंटे के भीतर ही अलग करके इसकी पहचान करना आवश्यक था।

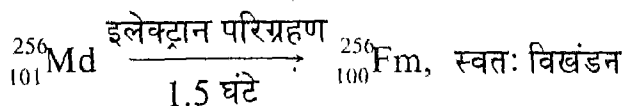
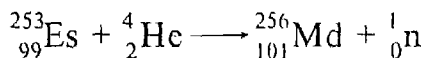
इस तत्व को शीघ्रतापूर्वक अलग करने के लिए 'प्रतिक्षेपण विधि' (Recoil Technique) प्रयोग में लाई गई। आइंस्टीनियम को सोने की अत्यंत पतली चद्दर के ऊपर बिछा दिया गया। आइंस्टीनियम की तह इतनी पतली थी कि आंख से उसे देखना सम्भव नहीं था। इसे निर्वात में रखकर इसके पीछे से ऐल्फा कणों की बमबारी की गई। किरणीयन करने वाले ऐल्फा कणों के प्रहार से एक 101वें तत्व के परमाणु प्रतिक्षेपित होकर एक अन्य सोने की पन्नी पर इकट्ठा हो गए। परिग्रहण करने वाली सोने की पन्नी पर आइंस्टीनियम के परमाणु नहीं थे। इस रासायनिक परीक्षण के लिए इस पन्नी को प्रयोग में लाया गया। यह सोचा गया कि 101वें तत्व ऐल्फा सक्रिय होगा। बमबारी समाप्त होने के पांच मिनट के अन्दर ही ऐल्फा कणों की सक्रियता का विश्लेषण किया गया किन्तु इस प्रकार की किसी भी सक्रियता का पता न चल पाया।

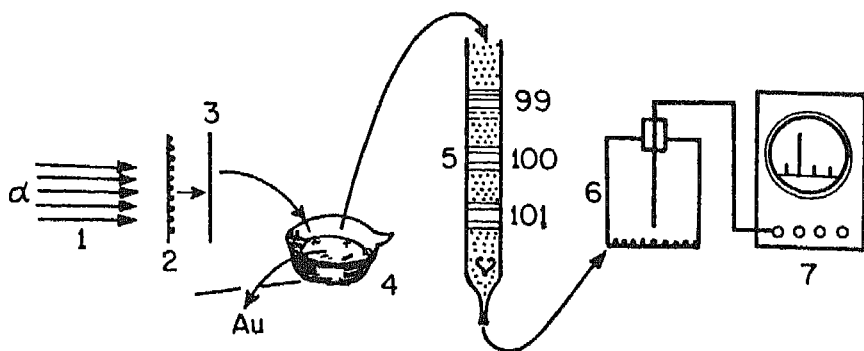
प्रयोग करते समय विकिरणों का पता लगाने के लिए इलेक्ट्रॉनिक संयंत्र लगाए गए थे। इन यंत्रों में प्रयोग के समय एक बड़ी स्पंद (pulse) देखी गई जो तत्व के स्वतः विखंडित होने के कारण पाई गई। केवल थोड़े से

समस्थानिक स्वतः विखंडित होते हैं। इनमें से कोई भी इस प्रयोग में उपलब्ध नहीं था। इन प्रयोगों में स्वतः विखंडन की एक या दो घटनाएं होती थीं। कभी-कभी तो एक भी नहीं होती थी। स्वतः विखंडन के इन आंकड़ों की विभिन्नता का कारण यह था कि प्रयोग के लिए केवल एक परमाणु उपस्थित था।

18-19 फरवरी, 1955 को क्रमशः तीन-तीन घंटे की तीन बमबारी करके, सोने की दूसरी पन्नियों के विलयन बनाए गए और आयन विनिमय विधि द्वारा नवीन तत्व को पृथक किया गया। इसे पृथक करने के लिए डावेक्स - 50 रेजिन के ऊपर 87^0 सेन्टीग्रेड पर अधिशोषित करके ऐल्फा हाइड्राक्सी ब्यूटाइरेट से निक्षालित (Elute) किया गया। प्रत्येक प्रयोग में कुछ आइंस्टीनियम - 253 तथा कैलिफोर्नियम - 246 के समस्थानिक भी उपस्थित पाए गए। तीनों प्रयोगो में निक्षालन से (Elution) उपलब्ध द्रव के स्वतः विखंडनों की गणना तुरन्त की गई। 100 वें तत्व के स्थान पर स्वतः विखंडन की आठ घटनाएं और 101 वें तत्व के स्थान पर पांच घटनाएं देखी गईं। अब तक किसी भी तत्व में इस प्रकार का स्वतः विखंडन नहीं देखा गया था। इन दोनों तत्वों के स्वतः विखंडित होने वाली अर्द्ध आयु 160 मिनट थी। उक्त परीक्षणों के आधार पर यह निर्णय लिया गया कि 101 वें तत्व का - 256 भार वाला समस्थानिक कोशीय इलेक्ट्रान परिग्रहण द्वारा फर्मियम - 256 में बदल जाता है। यह अभिक्रिया इस प्रकार होती है।

$$^{253}_{99}Es + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{256}_{101}Md + ^{1}_{0}n$$

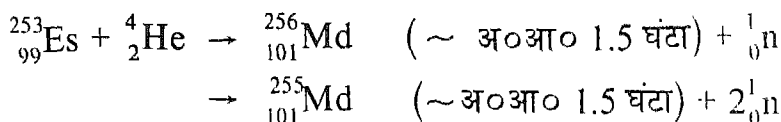
$$^{256}_{101}Md \xrightarrow[\text{1.5 घंटे}]{\text{इलेक्ट्रान परिग्रहण}} ^{256}_{100}Fm, \text{ स्वतः विखंडन}$$

बी०जी० हार्वी (B.G. Harvey), जी०आर० चापिन (G.R. Choppin), एम०जी० थाम्पसन (S.G. Thompson) तथा जी०टी० सीबोर्ग (G.T.

Seaborg) ने इस तत्व का संश्लेषण किया। इस तत्व का नाम **जमित्री मेंडेलीफ** (Dmitri Mendeleev) के सम्मानार्थ **मेंडेलीवियम** रखा गया। यहां यह स्मरणीय है कि अपनी आवर्त तालिका के आधार पर मेंडेलीफ ने अज्ञात तत्वों के गुणों को भी बतला दिया था और उसी सिद्धांत के आधार पर लगभग सभी परायूरेनियम तत्वों की गवेषणा हो पाई।

चित्र-15 मेंडेलीवियम की खोज

फर्मियम से आगे बनने वाले तत्वों को उच्च फ्लक्स रिएक्टरों में न्यूट्रॉन किरणीयन द्वारा बनाया जा सकता है किन्तु अत्यन्त उच्च न्यूट्रॉन फ्लक्स उपलब्ध नहीं होता है। दूसरी कठिनाई यह है कि मध्यवर्ती नाभिक इतने अल्पायु होते हैं कि वे अत्यन्त कम मात्रा में उपलब्ध होते हैं, अतएव केवल ताप नाभिकीय विस्फोटों का उपयोग इन तत्वों के बनाने में किया जा सकता है। इसमें दस लाखवें सैंकन्ड से भी कम समय में अनेक न्यूट्रान नाभिक में चले जाते हैं और मध्यवर्ती उत्पादों का क्षय नहीं हो पाता, क्योंकि इतने कम समय में क्षय होना प्रायः नगण्य होता है। नाभिक में न्यूट्रानों की अधिकता होने के कारण इन तत्वों के भारी नाभिकों की अर्द्ध आयु अधिक

होनी चाहिए। एक अन्य कठिनाई यह है कि इन नाभिकीय विस्फोटों का सफलतापूर्वक अध्ययन नहीं हो सकता इसलिये फर्मियम से आगे बनने वाले तत्वों को बनाने के लिए आवेशित कणों का उपयोग किया जाता है। भारी तत्व अत्यन्त कम मात्रा में उपलब्ध होते हैं और इनकी अर्द्ध आयु भी अत्यन्त कम होती है। इसके अतिरिक्त किरणीयित करने के लिए जो टार्गेट बनाया जाता है, वह भी अत्यन्त कम मात्रा में मिलता है। अतएव मेंडेलीवियम के समस्थानिक निम्नांकित नाभिकीय अभिक्रियाओं द्वारा बनाए गए।

$${}^{253}_{99}Es + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{256}_{101}Md \quad (\sim \text{अ०आ० 1.5 घंटा}) + {}^{1}_{0}n$$

$$\rightarrow {}^{255}_{101}Md \quad (\sim \text{अ०आ० 1.5 घंटा}) + 2{}^{1}_{0}n$$

ऐल्फा कणों तथा स्वतः विखंडन का पता लगाने के लिए ग्रिड लगे हुए आयनन कक्ष बनाए गए। इन कक्षों के बनाने के लिए ऐसे पदार्थ लिए गए जो ऐल्फा सक्रिय नहीं होते, इसलिए पृष्ठभूमि की सक्रियता बिल्कुल नहीं थी। इस अभिक्रिया से समान ऊर्जावान ऐल्फा कण निकलते थे, अतएव किसी भी तत्व से निकले हुए ऐल्फा कणों का परिचयन होना सरल हो गया। स्वतः विखंडन में नाभिक दो भागों में विखंडित होता है। प्रत्येक भाग एक दूसरे की विपरीत दिशा में गमन करते हैं। अतः एक भाग गणना करने वाले कक्ष में प्रवेश कर जाता था। इनका गमन पथ भी छोटा था। परमाणुओं की स्वतः विखंडन ऊर्जा लगभग समान होती है। अतएव ऐल्फा कणों की गणना कई कक्षों में एक साथ की गई, जहां पर प्रत्येक घटना अंकित हो जाती थी। इन घटनाओं का समय भी नोट किया जाता था। साथ ही साथ इनकी कणों की ऊर्जा इनके पल्सों की ऊंचाई (Pulse Height) से नापी

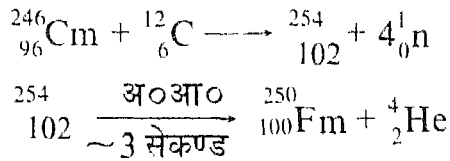
गई। इस प्रकार ऐल्फा कणों के निकलने की गति तथा ऊर्जा का पता लगाया गया।

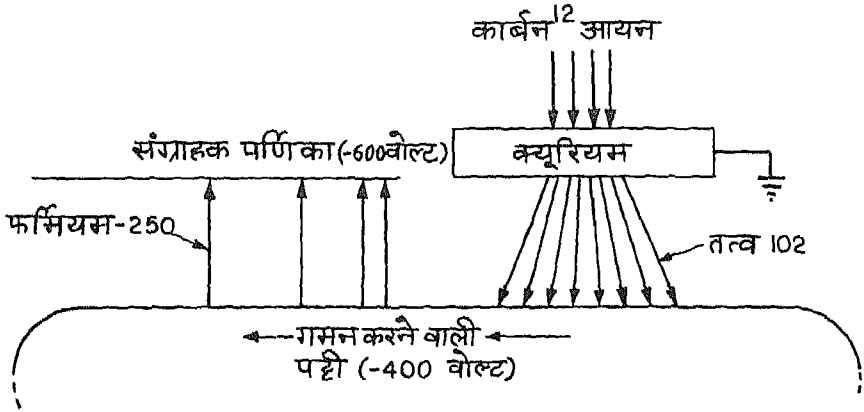
नोबेलियम :

इस तत्व के निर्माण की घोषणा सन् 1957 में स्वीडेन स्थित भौतिकी के नोबेल संस्थान, स्टॉकहोम (Nobel Institute for Physics of Stockholm) में हुई। वैज्ञानिकों के एक अंतर्राष्ट्रीय दल ने इस तत्व का संश्लेषण किया। इस दल में अमेरिका की **आर्गान** राष्ट्रीय प्रयोगशाला (Argonne National Laboratory) के पी०आर० फील्ड्स तथा ए०एम० फ्रीडमैन (P.R. Fields and A.M. Friedman), इंग्लैड की परमाणु ऊर्जा अनुसंधान संस्थान, हारवेल (Atomic Energy Research Establishment, Harwell) के जे० मिल्स्टेड तथा ए० बी० बेडेल (J.Milsted and A.B. Beadle) और भौतिकी के नोबेल संस्थान के एच० ऐटरलिंग, डब्लू० फोर्सलिंग, एल०डव्ल्यू० होम और बी० ऐस्ट्राम (H.Atterling, W.Forsling, L.W.Holm, B.Astrom) सम्मिलित थे। इन वैज्ञानिकों ने क्यूरियम - 244 टार्गेट पर कार्बन - 13 के, चार घनात्मक आयनों $^{13}C(+^4)$ की बमबारी की। कार्बन आयनों की ऊर्जा 90 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट थी और इनको साइक्लोट्रॉन में त्वरित किया गया था। नोबेलियम के इस समस्थानिक की अर्द्ध आयु लगभग दस मिनट थी और इसमें से निष्कर्षित ऐल्फा कणों की ऊर्जा 8.5 ± 1.1 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट थी। इन लोगों ने इस तत्व का नाम अल्फ्रेड नोबेल के नाम पर **'नोबिलियम'** रखा। सोवियत रूस के परमाणु ऊर्जा अनुसंधान के जी०एन० फ्लेराव (G.N. Flerov) तथा सहयोगियों और बर्क्ले के सीबोर्ग तथा सहयोगियों ने इस परीक्षण की सत्यता को स्वीकार नहीं किया। सन् 1958 में ए० घियार्सो, टी०.सिक्केलैंड (T. Sikkeland), जे० आर०

वाल्टन (J.R. Walton) और जी० टी० सीबोर्ग (G.T. Seaborg) ने क्यूरियम - 246 टार्गेट के ऊपर, कार्बन - 12 आयनों की बमबारी की। बर्कले के 'हेवी आयन लीनियर ऐक्सीलरेटर' (Heavy Ion Linear Accelerator) यंत्र द्वारा कार्बन के आयन त्वरित किए गए। इन लोगों ने रासायनिक परीक्षणों के आधार पर एक नवीन तत्व की पुष्टि की। यह तत्व क्षय होकर फर्मियम - 250 में बदल जाता था और इसकी अर्द्ध आयु तीस मिनट थी। इसमें से 7.43 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जावान ऐल्फा कण निकलते थे। यह नाभिकीय क्रिया इस प्रकार होती है :

$$^{246}_{96}Cm + ^{12}_{6}C \longrightarrow {}^{254}102 + 4^{1}_{0}n$$

$$^{254}102 \xrightarrow[\sim 3 \text{ सेकण्ड}]{\text{अ०आ०}} {}^{250}_{100}Fm + {}^{4}_{2}He$$

102 वें तत्व के बनने तथा उससे फर्मियम अलग करने की विधि चित्र 16 में दिखलाई गई है।

इस प्रकार जो तत्व बना उसकी अर्द्धआयु अत्यन्त कम है और अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में यह पाया जाता है। निकेल की एक पतली पट्टी के ऊपर क्यूरियम वितरित किया गया और इसे एक पात्र में रख दिया गया, जिसमें पहले से हीलियम गैस भरी हुई थी। अब कार्बन आयनों की क्यूरियम टार्गेट के ऊपर बमबारी की गई जिससे तत्व 102 के परमाणु हीलियम के परमाणुओं से टकराने लगे ताकि हीलियम के परमाणु उनकी प्रतिक्षेपण ऊर्जा अपने में ग्रहण कर लें। टार्गेट के ठीक नीचे एक चलायमान पट्टी रख दी गई थी, जिसका विभव ऋणात्मक था। तत्व 102 के सारे धनावेशी परमाणु चलायमान पट्टी पर आकर्षित हो जाते थे। जब यह पट्टी आगे बढ़ती थी तो इसके ऊपर एक अन्य पट्टी भी घूमती थी, इसका ऋणात्मक

चित्र-16 नोवेलियम की निर्माण विधि

विभव पहले वाली पट्टी से अधिक रखा जाता था, ताकि फर्मियम - 250 के परमाणु प्रतिक्षेपित होकर इसके ऊपर चले जाएं। क्यूरियम टार्गेट पर एक घंटा बमबारी करने के उपरान्त, दूसरी पट्टी को पांच समान भागों में काट कर उनके द्वारा प्राप्य ऐल्फाकणों की ऊर्जाओं का विश्लेषण किया गया। गणना करने पर यह पता चला कि फर्मियम - 250 एक ऐसे तत्व से उत्पन्न होता है जिसकी अर्द्ध आयु लगभग तीन सैकन्ड है। अब फर्मियम ग्रहण करने वाली पट्टी की गति बदल दी गई, फिर भी वही परिणाम प्राप्त हुए। इसी प्रकार आयन विनिमय विधि द्वारा भी फर्मियम - 250 की पुष्टि की गई।

सन् 1957 और 1958 में रूसी वैज्ञानिक जी०एन० फ्लेराव (G.N. Flerov) और उनके सहयोगियों ने प्लूटोनियम - 241 या - 242 के ऊपर उच्च ऊर्जावान आक्सीजन आयनों की बमबारी करके एक नाभिक बनाया जिसकी अर्द्ध आयु पांच से लेकर बीस सैकेन्ड के बीच में थी। इससे

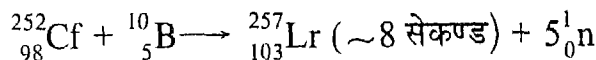
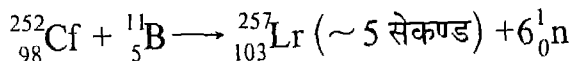
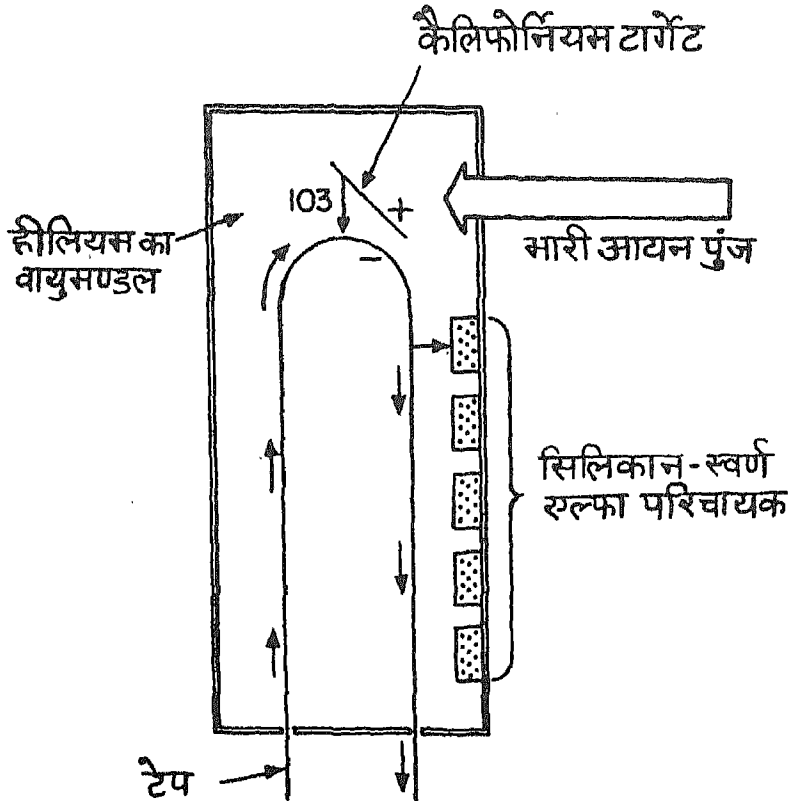
8.8 ± 0.5 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट ऊर्जा वाले ऐल्फा कण निकलते थे, किन्तु इस समस्थानिक की पुष्टि नहीं हो पाई।

सीबोर्ग तथा उनके सहयोगियों ने ऐल्फा कणों की गणना करने के लिये एक नवीन तकनीक अपनाई। तत्व 102 के प्रतिक्षेपित परमाणुओं को एक पट्टी पर डाला गया और इस पट्टी को खींचकर एक ऐल्फा कणों की गणना करने वाले यंत्र के भीतर ले जाया गया। इस प्रकार ऐल्फा कणों की ऊर्जा और उनकी अर्द्ध आयु की गणना की गई। इससे यह पता चला कि नोबेलियम की अर्द्ध आयु लगभग तीन सैकेन्ड है और इससे निकलने वाले ऐल्फा कणों की ऊर्जा 8.3 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट है।

लारेंसियम :

सन् 1961 में ए० घियार्सो, टी० सिक्केलैंड, ए०ई० लार्श तथा आर०एम० लैटिमर ने कैलिफोर्नियम के चार समस्थानिकों (249, 250,251,252) का एक मिश्रण लिया, जिसका भार 3×10^{-6} ग्राम था। बोरान 10 तथा बोरान 11 आयानों को हैवी आयन लीनियर ऐक्सीलरेटर में त्वरित करके इस टार्गेट पर बमबारी की गई। निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा तत्व 103 बना।

$$^{252}_{98}Cf + ^{11}_{5}B \longrightarrow ^{257}_{103}Lr \ (\sim 5 \text{ सेकण्ड}) + 6^{1}_{0}n$$

$$^{252}_{98}Cf + ^{10}_{5}B \longrightarrow ^{257}_{103}Lr \ (\sim 8 \text{ सेकण्ड}) + 5^{1}_{0}n$$

इस तत्व को बनाने तथा उसकी पहचान करने में वही तकनीक अपनाई गई, जो तत्व 102 को बनाने तथा उसके परिचयन में प्रयुक्त हुई थी।

चित्र-17 लारेंसियस का निर्माण

तत्व 103 के परमाणु टार्गेट से प्रतिक्षेपित होकर हीलियम के वायुमंडल में चले गए। इन्हें एक प्लैस्टिक के टेप के ऊपर इकट्ठा किया गया। इस प्लैस्टिक के टेप पर तांबे की एक पर्त जमा दी गई थी और इस टेप पर ऋणावेश भी उत्पन्न कर दिया गया था। यह टेप स्वतः इस प्रकार गमन

करते थे कि कुछ सैकन्डों के लिए ये ऐल्फा विकिरण नापने वाले सिलिकान तथा सोने के डिटेक्टर के सामने आ जाते थे। इनके द्वारा ऐल्फा कणों के निकलने की गति तथा उनकी ऊर्जा नापी जाती थी। इस प्रकार यह ज्ञात हुआ कि तत्व 103 के समस्थानिक 257 की अर्द्ध आयु लगभग आठ सैकन्ड है और इससे 8.6 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट ऊर्जा वाले ऐल्फा कण निकलते हैं। कैलिफोर्नियम के टार्गेट में सीसे तथा बिस्मथ भी अशुद्धियों के रूप में मिले हुए थे। अतः कई अन्य टार्गेट प्रयोग में लाए गए, ताकि इस बात की पुष्टि हो जाये कि यह सक्रियता केवल कैलिफोर्नियम टार्गेट में ही पाई जाती है।

साइक्लोट्रॉन के आविष्कर्ता तथा दीर्घकाल तक बर्कले की रेडिएशन प्रयोगशाला के निदेशक ई० ओ० लारेंस (E.O. Lawrence) के नाम पर इस तत्व का नाम **लारेंसियम** रखा गया।

□□

7

आवर्त्त तालिका में अतिभारी तत्वों का स्थान

उन्नीसवीं शताब्दी के उत्तरार्द्ध में सुप्रसिद्ध रूसी वैज्ञानिक जमित्री इवानोविच मेन्डेलीफ ने आवर्त्त तालिका बनाकर, उस समय तक के ज्ञात सभी तत्वों के स्थान निश्चित किया था। आज से लगभग साठ वर्ष पूर्व 43,61,85 तथा 87 तत्वों को छोड़कर, 92 तत्व तक के सभी तत्वों के स्थान भर दिए गए थे। यद्यपि इस समय तक इन तत्वों के विषय में कोई जानकारी उपलब्ध नहीं थी फिर भी आवर्त्त तालिका की सहायता से इन चारों तत्वों के गुण पहले ही से बतला दिए गए और इन चारों तत्वों के नाम क्रमशः मसूरियम (43), इलीनियम (61) अलाबामीन (85) तथा वर्जिनियम (87) रखे गए। थोड़े ही दिनों बाद यह पता चला कि इन तत्वों पर जो भी काम हो चुका है, वह बिल्कुल गलत है। इन तत्वों के सम्बन्ध में किए गए शोध कार्यों की असफलता का कारण यह था कि उस समय तक परमाणु नाभिक के विषय में पूरी जानकारी प्राप्त न हो सकी थी। कुछ वैज्ञानिकों का विचार था कि सम्भवतः ये चारों तत्व रेडियोऐक्टिव हैं और

आयु कम होने के कारण धीरे धीरे क्षय होकर धरती के धरातल से लुप्त हो गए हैं। इन लुप्त तत्वों की खोज को सफल बनाने का श्रेय इसी वैज्ञानिक विचारधारा को मिला। द्वितीय विश्वयुद्ध के समाप्त होते-होते इन चारों तत्वों की खोज कर ली गई । इन तत्वों के नाम इस प्रकार रखे गए : **टेकनीसियम (43), प्रोमेथियम (61), ऐस्टेटीन (85) फ्रैंसियम (87)**।

द्वितीय विश्वयुद्ध के पूर्व प्रचलित आवर्त्त तालिका के अनुसार यूरेनियमोत्तर तत्वों की संख्या 93 वें तत्व से लेकर 100 वें तत्व तक होनी चाहिए। 1920 के लगभग इस आवर्त्त तालिका में बेरियम और हैफनियम के बीच में एक ही स्थान पर लैथनम तथा अन्य 14 तत्व रख दिए गए। लैथनम की तरह गुण होने के कारण इन्हें **लैंथेनाइड** कहा गया। इसका दूसरा नाम 'रेयर अर्थ समूह' रखा गया। 1940 से पूर्व प्रचलित उक्त आवर्त्त तालिका में सबसे भारी तत्व थोरियम, प्रोटऐक्टीनियम और यूरेनियम थे। ऊपर दी गई आवर्त्त तालिका के देखने से यह पता चलता है कि इन तीनों तत्वों के गुण क्रमशः हैफनियम, टैटलम और टंगस्टेन की तरह होने चाहिए। इसी तरह 93 से लेकर 100 वें तत्व तक के गुण क्रमशः रेनियम, ऑस्मियम, इरीडियम, प्लैटिनम, स्वर्ण, पारे, थैलियम और सीसे की तरह होने चाहिए। साथ ही साथ इन तत्वों को क्रमशः ऊपर दिए गए तत्वों के नीचे रखा जाना चाहिए। इसी आवर्त्त तालिका के आधार पर यह बतलाया गया कि 94 तत्व के गुण ऑस्मियम की तरह और 96 तत्व के गुण प्लैटिनम से मिलने चाहिए। पिछले अध्याय में यह बतलाया जा चुका है कि यूरेनियम से आगे के तत्वों को बनाने का सबसे पहला प्रयास फर्मी, सीग्रे इत्यादि का था। इन्होंने 1934 में यूरेनियम पर न्यूट्रानों की बमबारी करके अनेक रेडियो धर्मी समस्थानिक बनाए। कुछ दिनों के उपरान्त जब आटो हान ने

नाभिकीय विखंडन का पता चलाया, तब इस प्रकार की धारणा गलत सिद्ध हुई।

मैकमिलन और एबेल्सन ने 1940 में तत्व 93 की रचना की। इसी वर्ष सीबोर्ग, वाल, केनेडी तथा मैकमिलन ने तत्व 94 बनाया। इन तत्वों को लेकर जो रासायनिक परीक्षण किए गए, उनसे यह पता चला कि इन तत्वों के गुणों और रेनियम तथा ऑस्मियम के गुणों में परस्पर कोई भी समानता नहीं है। यह भी देखा गया कि इन दोनों तत्वों के अनेक गुण यूरेनियम से मिलते हैं। इस प्रकार की संदिग्धात्मक परिस्थिति में यह निश्चित न हो पाया कि यूरेनियम तथा इन दोनों नवीन तत्वों में पारस्परिक सम्बन्ध क्या है? इसी तथ्य के आधार पर यह अनुमान लगाया गया कि 95 और 96 तत्व के गुण इन्हीं तीनों तत्वों से मिलने चाहिए। इन विचारों को सत्य मान लेने पर यह आशा हुई कि लैथेनाइड की तरह, यूरेनाइड नामक एक नवीन समूह के तत्वों के ज्ञात होने की बहुत सम्भावना है। यह धारणा अत्यन्त हानिकारक सिद्ध हुई, क्योंकि इस प्रकार के गुणों को ध्यान में रख कर 95 और 96 तत्वों को अलग करने के लिए जितने भी प्रयोग किए गए, वे सब असफल रहे।

1944 में सीबोर्ग ने यह विचार व्यक्त किया कि ऐक्टीनियम से आगे मिलने वाले सारे तत्व, आवर्त तालिका में अपने-अपने उचित स्थान पर नहीं रखे गए हैं। उन्होंने ऐसा सुझाव दिया कि ऐक्टीनियम से आगे मिलने वाले समस्त तत्वों को एक स्थान पर रख देने से लैथनम समूह की धातुओं की तरह, इन तत्वों के एक अन्य नवीन समूह बनने की विशेष सम्भावना है। आवर्त्त तालिका में बेरियम और हैफनियम के बीच में, एक ही तरह के भौतिक और रासायनिक गुणों वाले लैथनम तथा अन्य चौदह तत्वों को, एक स्थान पर रख दिया गया था। इसी प्रकार ऐक्टीनियम और इसके आगे मिलने वाले तत्वों को आवर्त्त तालिका में रेडियम के आगे एक स्थान पर

रखने का विचार किया गया। लैथनम समूह के तत्वों के इलेक्ट्रॉनों के विन्यास से यह ज्ञात होता है कि आन्तरिक उपकोश 4f में क्रमशः इलेक्ट्रॉनों के जुड़ने के कारण तत्वों की यह श्रृंखला बनी है। इन्हीं तत्वों के सजातीय ऐक्टीनियम और उसके आगे पाए जाने वाले तत्व हैं। इसलिए यह विचार किया गया कि इन नवीन तत्वों के आन्तरिक उपकोश 5f में क्रमशः इलेक्ट्रॉन जुड़ते जायेंगे। यह देखा जाता है कि लैंथनम समूह के तत्वों में कतिपय इलेक्ट्रॉन 6s उपकोश में भी पहुंच जाते हैं। इसलिए यह भी अनुमान लगाया गया कि ऐक्टीनियम और इसके आगे पाए जाने वाले तत्वों में कुछ ऐसे भी तत्व होंगे जिनके 7s उपकोश में भी इलेक्ट्रॉन पाए जायेंगे। सीबोर्ग के इस नए विचार के आधार पर ऐक्टीनियम समूह के सारे तत्वों को 'ऐक्टीनाइड' कहा गया। इस विचार को सत्य सिद्ध करने के लिए यह आवश्यक है कि 95 और 96 तत्व के कुछ गुण ऐक्टीनियम की तरह और कुछ गुण रेयर अर्थ समूह के तत्व यूरोपियम और गैडोलिनियम से मिलने चाहिए। रेयर अर्थ समूह के ये दोनों तत्व उपचित होने पर तृतीय आक्सीकरण अवस्था में पाए जाते हैं। इसलिए यह निश्चिय हुआ कि 95 और 96 तत्वों को तृतीय के अतिरिक्त अन्य आक्सीकरण अवस्था में उपचित करने में बड़ी ही कठिनाई होगी। इस बात को प्रमाणित करने के लिए प्रयोग किए गए। इन प्रयोगों द्वारा बड़ी ही सरलापूर्वक इन दोनों तत्वों को अलग कर लिया गया। जब यह अच्छी तरह निश्चित हो गया कि आवर्त्त तालिका में ऐक्टीनियम से लेकर लारेंसियम (103) तक सारे तत्व **ऐक्टीनियम समूह** के अन्तर्गत एक स्थान पर रखे जा सकते हैं, तब थोरियम, प्रोटऐक्टीनियम और यूरेनियम को उनके स्थान से हटाकर नवीन समूह में डाल दिया गया। इस प्रकार 104 और उसके आगे वाले तत्वों के बनने पर इन्हें उन स्थानों पर रखा जायेगा जहां पहले थोरियम, प्रोटऐक्टीनियम और यूरेनियम थे। पृष्ठ पर दी गई वर्तमान आवर्त्त तालिका

में इन तत्वों को उनके उचित स्थान पर दिखलाया गया है।

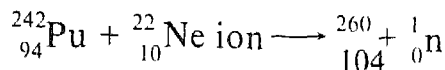
तत्व 104 :

सोवियत रूस तथा अन्य कई समाजवादी देशों ने मिलकर, रूस की राजधानी मास्को से लगभग साठ मील दूर वोल्गा नदी के तट पर स्थित दूबना (Dubna) नामक स्थान पर एक 'नाभिकीय अनुसंधान संस्थान' का निर्माण किया। इस स्थान का नाम ज्वाइंन्ट इन्सटीच्यूट फॉर न्यूक्लियर रिसर्च (Joint Institute for Nuclear Research) रखा गया। 1964 में जार्जी एन० फ्लेराव (Georgi N. Flerov) तथा उनके सहयोगियों ने इस संस्थान में उपलब्ध तीन सौ दस सेन्टीमीटर के साइक्लोट्रॉन से नियॉन गैस के 22 भारवाले आयनों को त्वरित किया और प्लूटोनियम 242 के टार्गेट के ऊपर उनकी बमबारी की। बमबारी के कारण प्लूटोनियम के टार्गेट में से इस तत्व के परमाणु प्रतिक्षेपित हुए और इनको निकेल की बनी हुई एक पतली पट्टी के ऊपर रोक लिया गया। यह चालित पट्टी विखंडन नापने वाले यंत्र के नीचे से होती हुई आगे बढ़ जाती थी। विखंडन का पता लगाने वाले यंत्र का एक भाग अभ्रक अथवा विशेष प्रकार के कांच का बना हुआ था।

अभ्रक की पतली पन्नियाँ एक बेलन पर लपेट दी गईं और इस बेलन को घुमाकर टार्गेट के पास लाया गया। टार्गेट से प्रतिक्षेपित परमाणु इस बेलन पर इकट्ठा होकर तुरन्त ही विखंडित भी हो गए। विखंडित भाग अभ्रक तल पर जिस रास्ते से आगे बढ़ता गया उन रास्तों पर चिन्ह बनते गये। टार्गेट के सामने क्षैतिज समतल (Horizontal plane) में बेलन को आगे तथा पीछे भी ले जाया गया। बेलन को टार्गेट के सामने भी घुमाया गया। इस प्रकार स्वतः विखंडन की सारी घटनाएं अभ्रक तल पर चिन्हित होकर फैल गईं। विखंडित भागों के गमन पथों के वितरण का अध्ययन सूक्ष्म दर्शनी परीक्षण द्वारा किया गया। इस परीक्षण द्वारा स्वतः विखंडन होने

वाली घटनाओं की संख्या निर्धारित की गई।

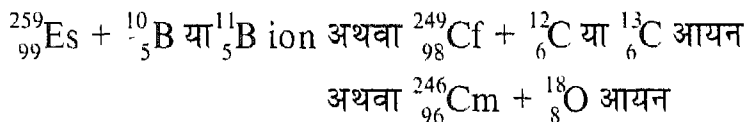
फ्लेराव तथा उसके सहयोगियों द्वारा निम्नलिखित रासायनिक अभिक्रिया की गई थी।

$$^{242}_{94}Pu + ^{22}_{10}Ne\ ion \longrightarrow ^{260}_{104} + ^{1}_{0}n$$

उन लोगों ने इस तत्व की अर्द्ध आयु 0.3+ 0.1 सैकन्ड निर्धारित की और यह बतलाया कि इस तत्व का क्षय स्वत: विखंडन द्वारा होता है।

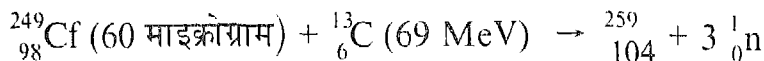
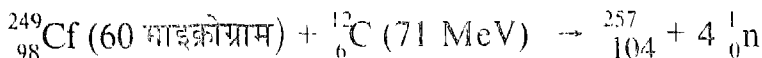
इसी संस्थान के आई० ज्वारा (I.Zvara) और सहयोगियों ने 1966 में इसी समस्थानिक को बनाकर इस तत्व के अस्तित्व की पुष्टि की और इसकी अर्द्ध आयु 0.3 सैकन्ड निश्चित किया।

जैसा कि पहले ही उल्लेख किया जा चुका है कि सीबोर्ग ने यह बात स्पष्ट कही थी कि तत्व 103 लारेंसियम तक पहुंच जाने पर उपकोश 5f भर जायेगा और हैफनियम जैसा कोई नवीन संक्रमण तत्व, तत्व 104 का स्थान ले लेगा। यह तत्व 6d संक्रमण श्रृंखला का प्रथम तत्व होगा। सीबोर्ग के इस कथन के आधार पर घियार्सो और उसके सहयोगियों ने अमेरिका की लारेंस रेडिएशन प्रयोगशाला में निम्नलिखित अभिक्रियाओं द्वारा इस बात की पुष्टि की कि रूसी वैज्ञानिकों द्वारा गवेषित तत्व 104 का 260 भार वाला समस्थानिक किसी भी प्रकार उन्हें उपलब्ध न हो पाया।

$$^{259}_{99}Es + ^{10}_{5}B \text{ या } ^{11}_{5}B\ ion \text{ अथवा } ^{249}_{98}Cf + ^{12}_{6}C \text{ या } ^{13}_{6}C \text{ आयन}$$

$$\text{अथवा } ^{246}_{96}Cm + ^{18}_{8}O \text{ आयन}$$

सन् 1969 में अमेरिकी वैज्ञानिकों ने निम्नलिखित अभिक्रिया द्वारा यह तत्व बनाया।

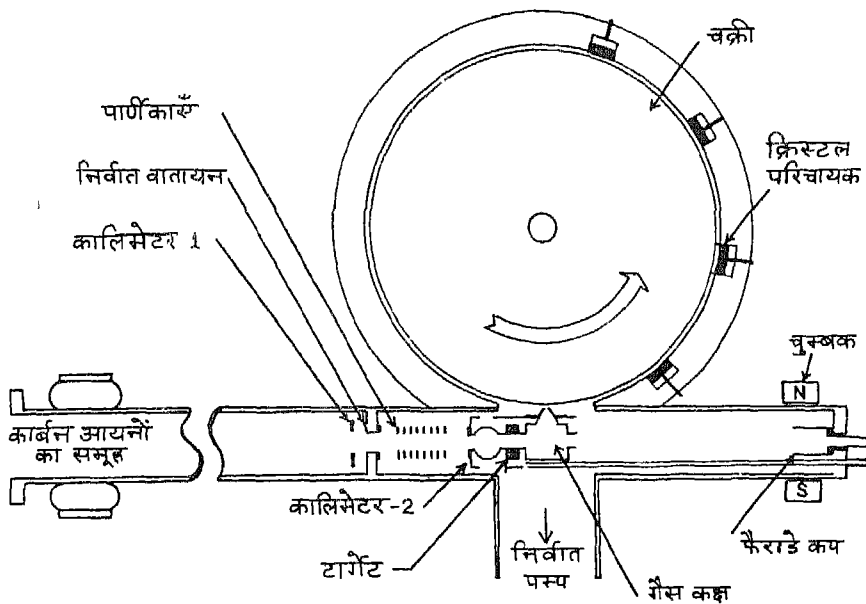
$$^{249}_{98}Cf \text{ (60 माइक्रोग्राम)} + ^{12}_{6}C \text{ (71 MeV)} \rightarrow ^{257}_{104} + 4\ ^{1}_{0}n$$

$$^{249}_{98}Cf \text{ (60 माइक्रोग्राम)} + ^{13}_{6}C \text{ (69 MeV)} \rightarrow ^{259}_{104} + 3\ ^{1}_{0}n$$

इनमें से $^{257}104$ की अर्द्ध आयु 4.5 सैकन्ड निर्धारित की गई और ऐल्फा उत्सर्जन द्वारा यह $^{253}_{102}No$ में परिवर्तित हो गया, जिसकी अर्द्ध आयु एक सौ पांच सैकन्ड थी। अन्य समस्थानिक 104^{254} की अर्द्ध आयु तीन से चार सैकन्ड के बीच में थी। ऐल्फा उत्सर्जन द्वारा यह $^{259}{}_{102}No$ में परिवर्तित हो गया, जिसकी अर्द्ध आयु 185 सैकन्ड थी।

ऐल्फा कणों की गणना और उनकी ऊर्जा निर्धारित करने के लिए निम्नलिखित तकनीक उपयोग में लाई गई। बेरिलियम तथा फ्लैडियम धातुओं से बनी हुई पर्णिका (Foil) के ऊपर कैलिफोर्नियम का विद्युत लेपन किया गया। इस टार्गेट को एक कक्ष में रखा गया, जिसमें हीलियम भरी हुई थी। बमबारी हो जाने पर जब 104 तत्व बना, तब इसे हीलियम गैस के बहाव के साथ, एक मैगनीशियम की चक्री पर गिराया गया और यह तत्व उस चक्री पर इकट्ठा हो गया। लगातार गमन करने वाली यह चक्री सिलिकन क्रिस्टल डिटेक्टरों के सम्मुख पहुँचती रहती थी और इससे ऐल्फा कणों की गणना की जाती थी। यह तकनीक चित्र 18 में दिखलाई गई है।

अमेरिकी वैज्ञानिकों ने इस तत्व के प्रतिक्षेपित भागों को नाइट्रोजन गैस में इसलिए भेजा कि वे आगे न बढ़ सकें और उसी में रुके रहें। इस गैस में नायोबियम पेन्टाक्लोराइड ($NbCl_5$) तथा हैफनियम टेट्राक्लोराइड ($HfCl_4$), 3:1 के अनुपात में मिलाए गए। इस मिश्रण को 350^0 सेन्टीग्रेड तक गरम करके तृतीय समूह के क्लोराइड (ऐक्टीनियम समूह) चतुर्थ समूह के क्लोराइड से पृथक कर दिए गए। इस प्रकार तत्व - 104 का टेट्राक्लोराइड अलग किया गया। इन लोगों ने इस तत्व के 256 से लेकर

261 भार तक के समस्थानिक बनाऐ।

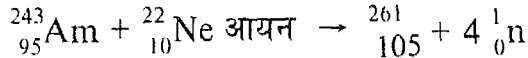
रूसी वैज्ञानिकों ने 1969 में प्लूटोनियम - 242 पर निऑन - 22 आयनों की बमबारी करके 104 तथा 104 समस्थानिकों के संश्लेषण की घोषणा की। इनकी अर्द्ध आयु क्रमशः 0.1 सैकन्ड तथा 4.5 सैकन्ड निर्धारित की गई। इन लोगों ने इस तत्व का नाम भौतिकी के रूसी विद्वान आइगर कुर्चतोव (Igor Kurchtov) के नाम पर कुर्चतोवियम (Kurchtovium) तथा संकेत Ku रखा।

चित्र-18. तत्व 104 के एल्फाकणों की गणना

अमेरिकी वैज्ञानिकों ने रूसी वैज्ञानिकों की इस खोज को अविश्वसनीय माना। उन्होंने अर्नेस्ट रदरफोर्ड के नाम पर इस तत्व का नाम रदरफोर्डियम

(Rutherfordium) तथा संकेत Rf रखा। किन्तु नामकरण करने वाले अन्तर्राष्ट्रीय आयोग ने (International Commission on Nomenclature) जिसे इन्टरनेशनल यूनियन आफ प्योर और एप्लाइड केमिस्ट्री (IUPAC) ने गठित किया था, इस तत्व का नाम Un-nil-quadrium, (तत्व 104) रखा और इसका संकेत Unq निश्चित किया, जो सर्वमान्य है।

तत्व 105 :

जी.एन. फ्लेराव और उनके सहयोगियों ने दूबना के संस्थान में 1970 में ऐमेरीशियम टार्गेट के ऊपर निऑन आयनों की बमबारी करके एक सौ पांचवें तत्व का समस्थानिक बनाया। जो इस प्रकार है :

$$^{243}_{95}\text{Am} + ^{22}_{10}\text{Ne आयन} \rightarrow ^{261}_{105} + 4\,^{1}_{0}\text{n}$$

इस समस्थानिक की अर्द्ध आयु लगभग एक सैकन्ड के सौंवे भाग से अधिक थी और इसमें से ऐल्फा कण निकलते थे। इन ऐल्फा कणों की ऊर्जा 9.4 ± 0.1 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट थी।

घियारसो तथा सहयोगियों ने मार्च 1970 में बर्केले के हेवी आयन लीनियर एक्सीलरेटर द्वारा इस तत्व के बनाने की घोषणा की। इन लोगों ने कैलिफोर्नियम - 249 लेकर एक टार्गेट तैयार किया जिसमें प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र में केवल कुछ माइक्रोग्राम कैलीफोर्नियम मौजूद था। इस टार्गेट के ऊपर नाइट्रोजन के 15 N वाले 84 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जावान आयनों की बमबारी की गई। इस टार्गेट पर प्रत्येक सैकन्ड में नाइट्रोजन के 4×10^{12} आयन प्रहार करते थे। इस तत्व के समस्थानिक छः सौ टॉर दबाव पर रखी हुई हीलियम गैस में रोक लिए गए और हीलियम गैस के बहाव के साथ साथ आगे बढ़कर एक छोटे से छिद्र में से निकलकर, मैगनीशियम की एक चक्री पर जा गिरे, जिसका व्यास 45 सेन्टीमीटर था

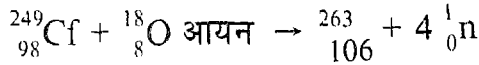
अधिकतर उत्पाद इस चक्री के थोड़े से क्षेत्र में शोषित हो गए। इसके उपरान्त ऐल्फा कणों का परीक्षण अत्यन्त सावधानी के साथ किया गया। एक सौ पांचवें तत्व से ऐल्फा कणों के निष्कर्षण के उपरान्त लारेंसियम 256 बना और इससे 84 मिलियन इलेक्ट्रॉन वोल्ट ऊर्जावान ऐल्फा कण प्राप्त हुए। लारेंसियम के इस समस्थानिक की आयु 30 सैकन्ड थी। अमेरिकी वैज्ञानिकों के इस समूह ने यह भी दावा किया कि उन्होंने 105 वें तत्व के 265 भार वाले समस्थानिक भी बनाए। यह समस्थानिक 8.45 Mev ऊर्जावान ऐल्फा कण निकालता था और लारेंसियम 258 में परिवर्तित हो जाता था। इस तत्व के इस समस्थानिक की अर्द्ध आयु 42 सैकन्ड निर्धारित की गई।

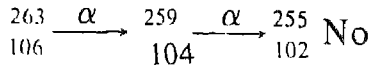
रूसी वैज्ञानिकों ने इस तत्व का नाम नील्सबोरियम (Nielborium) और संकेत Ns रखा। अमेरिकी वैज्ञानिकों ने इनका नाम (Hahnium) हाहनियम और संकेत Ha रखा। इन्टरनेशनल यूनियन आफ प्योर एन्ड एप्लाइड केमिस्ट्री के नामकरण करने वाले अन्तर्राष्ट्रीय आयोग ने इस तत्व का नाम तत्व 105 Un-nil-Pentium और संकेत Unp रखा जिसे संसार में मान्यता प्राप्त है।

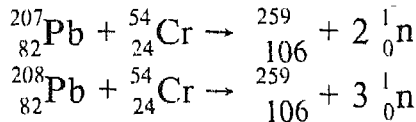
तत्व 106 :

अमेरिका की वर्कले स्थित लारेंस रेडिएशन प्रयोगशाला के हेवी आयन लीनियर एक्सीलेरेटर में कुछ सुधार करके उसकी आयन त्वरण क्षमता बढ़ा दी गई और उसका नाम सुपर हेवी आयन लीनियर ऐक्सीलेरेटर (Super HIL AC) रखा गया। 1974 में घियार्सो तथा सहयोगियों ने इस यंत्र द्वारा ऑक्सीजन ^{18}O के आयनों को त्वरित करके 95 Mev ऊर्जावान बनाया और प्रति सैकन्ड इस प्रकार के तीन सौ आयन कैलिफोर्नियम से बने हुए एक टार्गेट पर डाले गए; इस टार्गेट में ^{249}Cf की 259 माइक्रोग्राम मात्रा

वितरित की गई थी। इस प्रकार 106 तत्व का 263 भारवाला समस्थानिक बनाया गया, जिसकी अर्द्ध आयु 0.9 0.2 सैकन्ड थी और इसमें से 9.06± 0.04Mev ऊर्जावान 73 ऐल्फाकण तथा चार न्यूट्रान निकले। यह रासायनिक अभिक्रिया इस प्रकार हुई।

$$^{249}_{98}Cf + ^{18}_{8}O \text{ आयन } \rightarrow ^{263}_{106} + 4\,^{1}_{0}n$$

यह तत्व एल्फा क्षय द्वारा नोबेलियम में परिवर्तित हो गया।

$$^{263}_{106} \xrightarrow{\alpha} ^{259}_{104} \xrightarrow{\alpha} ^{255}_{102}No$$

ये ऐल्फा कण हीलियम गैस के साथ प्रवाहित करके एक घूमने वाली चक्री के तल पर गिराए गए और इनका परिचयन ठोस अवस्था में निर्मित उपकरणों द्वारा किया जाता है। इस उपकरण में होने वाली क्रियाओं की जांच कम्प्यूटर द्वारा की गई। जी० एन० फ्लेराव, यू०टी एम० ओरगनीसियन (Yu Ts Organession) और अन्य रूसी वैज्ञानिकों ने ड्यूबना के साइक्लोट्रॉन से इस तत्व की रचना की। इन लोगों ने टार्गेट के लिए 82Pb चुना क्योंकि इस लेड के नाभिकों में न्यूट्रान और प्रोटान इस तरह भरे हुए होते हैं कि इनसे मिश्र नाभिक बनाने में न्यूनतम उत्तेजन ऊर्जा की (Excitation Energy) आवश्यकता होती है, और अभिक्रिया होने की सम्भावना भी बढ़ जाती है। इन वैज्ञानिकों ने लेड के 207 और 208 समस्थानिक चुने। इन पर 280MeV ऊर्जावान के ^{54}Cr आयनों की बमबारी की गई। टार्गेट पर प्रति सैकन्ड क्रोमियम के 280MeV ऊर्जावान ^{54}Cr के 2×10^{11} आयनों की बमबारी की गई। यह नाभिकीय अभिक्रिया इस प्रकार हुई :

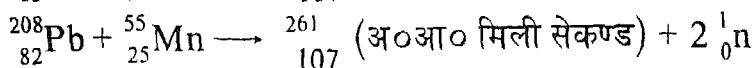
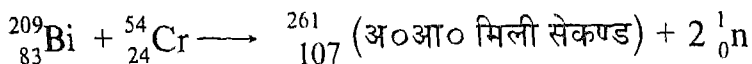
$$^{207}_{82}Pb + ^{54}_{24}Cr \rightarrow ^{259}_{106} + 2\,^{1}_{0}n$$
$$^{208}_{82}Pb + ^{54}_{24}Cr \rightarrow ^{259}_{106} + 3\,^{1}_{0}n$$

यह तत्व स्वतः विखंडित हो गया। स्वतः विखंडन की अर्द्ध आयु 7 मिली सैकन्ड निश्चित की गई। तत्व के स्वतः विखंडित होने पर इस तत्व के प्रतिक्षेपित भागों का पता अभ्रक से बने डिटेक्टरों द्वारा किया गया। ऐल्फा कणों की गणना से यह ज्ञात हुआ कि यह तत्व 51 ऐल्फा कण निकाल कर तत्व 104 में बदल जाता है। इस तत्व की रासायनिक अभिक्रियाएं टंगस्टेन जैसी होनी चाहिए। इस तत्व का नाम Un-nil-hexium, (तत्व 106) तथा संकेत Unh रखा गया।

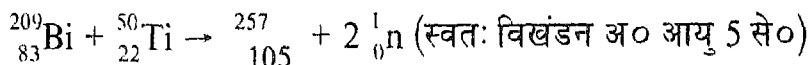
तत्व 107 :

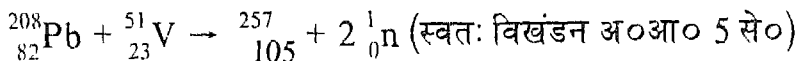
किसी भी नवीन तत्व के बन जाने पर यह सिद्ध करना पड़ता है कि उस तत्व की परमाणु संख्या अब तक ज्ञात तत्वों से भिन्न है। साथ ही साथ उस तत्व के रासायनिक गुणों का अध्ययन और परिचयन भी करना आवश्यक होता है। लारेंसियम से आगे बनाए गए तत्वों में धात्विक गुण होने चाहिए। धात्विक गुणों के कारण इस प्रकार निर्मित प्रत्येक में से विशिष्ट एक्सरे किरणें भी निकलनी चाहिए। इस प्रकार के निश्चियन में सबसे बड़ी कठिनाई यह है कि ये अत्यन्त अल्पायु वाले तत्व हैं और इनके परमाणु अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में बन पाते हैं। यही कारण है कि इन तत्वों के गुणों का अध्ययन प्रचलित भौतिक या रासायनिक विधियों द्वारा नहीं किया जा सकता। सूक्ष्म आयु वाले इन तत्वों में से ऐल्फा कण निकलते हैं और स्वतः विखंडन क्रिया भी होती है। इसलिए परमाणु संख्या का पता लगाना सम्भव नहीं हैं।

यू०टी एम० ओगानीसियन और सहयोगियों ने 1976 में दूबना स्थित 310 सेन्टीमीटर साइक्लोट्रॉन में त्वरित 210 MeV ऊर्जा वाले आयनों द्वारा इस तत्व के कई समस्थानिकों को इस प्रकार बनाया।

$$^{209}_{83}Bi + ^{54}_{24}Cr \longrightarrow \; ^{261}_{107}$$ (अ०आ० मिली सेकण्ड) $+ 2\,^{1}_{0}n$

$$^{208}_{82}Pb + ^{55}_{25}Mn \longrightarrow \; ^{261}_{107}$$ (अ०आ० मिली सेकण्ड) $+ 2\,^{1}_{0}n$

अभ्रक से बने हुए ऐल्फाकणों के डिटेक्टर द्वारा यह ज्ञात हुआ कि एक या दो मिली सैकन्ड में लगभग सौ स्वतः विखंडन की क्रियाएं होती हैं। पांच सैकन्ड अर्द्ध आयु वाली स्वतः विखंडन क्रिया एक सौ पांचवें तत्व के कारण होती है, जो इस प्रकार बनाया जाता है।

$$^{209}_{83}Bi + ^{50}_{22}Ti \rightarrow \; ^{257}_{105} + 2\,^{1}_{0}n$$ (स्वतः विखंडन अ० आयु 5 से०)

तत्व 107 से निकलने वाले ऐल्फाकणों और उनकी ऊर्जा का पता प्रत्यक्ष रूप से नहीं लग पाया।

$$^{208}_{82}Pb + ^{51}_{23}V \rightarrow \; ^{257}_{105} + 2\,^{1}_{0}n$$ (स्वतः विखंडन अ०आ० 5 से०)

एक या दो मिली सेकन्ड सक्रियता में ऐल्फाकणों के निकल जाने पर 5 सेकन्ड वाली स्वतः विखंडन क्रिया होती है। इसकी पुष्टि ऊपर लिखित अभिक्रिया द्वारा होती है। एक से दो मिलीसेकन्ड अ० आ० वाली अभिक्रिया और पांच सैकन्ड अ०आ० वाली अभिक्रिया से प्राप्त विखंडित भागों की संख्या समान होती है।

इस तत्व के गुण रेनियम की तरह होने चाहिए। इस तत्व का नाम (तत्व 107) Un-nil-septium तथा संकेत Uns रखा गया।

भावी तत्व :

अभी तक लैंथनम समूह के सजातीय ऐक्टीनियम समूह के तत्वों की श्रृंखला पूरी हो चुकी है और लारेंसियम के आगे बनने वाले कुछ तत्वों के संश्लेषण

और पहचान का विवरण प्रस्तुत किया जा चुका है। यदि मेन्डेलीफ की आवर्त तालिका में तत्व 104 से 121 तक का स्थान निश्चित कर दिया जाये तो 122 वें तत्व से लेकर 153 वें तत्व तक, बत्तीस तत्वों को एक नवीन समूह में रखना होगा। जिस प्रकार लैंथनम और ऐक्टीनियम समूह में चौदह तत्व होते हैं उसी प्रकार इस नवीन समूह में **बत्तीस तत्व** होंगे। इस समूह की विशेषता यह होगी कि इसमें एक नया आंतरिक उपकोश g होगा जिसमें अठारह इलेक्ट्रान हो सकते हैं। आवर्त तालिका के तत्वों में यह उपकोश g पहली बार प्रयोग में आएगा। एक सौ चालीसवें से लेकर एक सौ तिरेपनवें तत्व को '**एकाऐक्टीनाइड**' कहा जा सकता है। आवर्त तालिका में इस नवीन समूह के आगे तत्वों का विस्तार 168 वें तत्व तक हो सकता है, परन्तु अभी तक यह विचार एक कल्पना मात्र है।

भविष्य में बनने वाले इन तत्वों के गुण वर्तमान उच्च गति वाले कम्प्यूटरों द्वारा बतलाए गए हैं। इनमें से 104 से लेकर 112 वें तत्व तक वाह्यतम उपकोश 7S में दो इलेक्ट्रॉन होंगे। 104 वें तत्व में उपकोश 6d में दो इलेक्ट्रान होंगे। इस उपकोश में इलेक्ट्रानों की संख्या क्रमशः बढ़ती जायेगी और 112 वें तत्व तक यह उपकोश भर जायेगा। अब इलेक्ट्रान उपकोश 7p में प्रवेश करेंगे और 118 वें तत्व तक पहुंच कर उपकोश 7p भी भर जायेगा। तत्व 119 और 120 क्रमशः प्रथम और द्वितीय समूह की धातुओं जैसे होंगे और 121 वां तत्व ऐक्टीनियम से मिलता-जुलता होगा।

जिन तत्वों के नाभिकों में प्रोटानों या न्यूट्रानों की संख्या 2,8,20,28,50 तथा 82 होती है, वे तत्व स्थिर होते हैं। इन संख्याओं को मायांक (Magic Number) कहते हैं। इनके अतिरिक्त यदि नाभिक में न्यूट्रानों की संख्या 126,184,196 और प्रोटानों की संख्या 114,164 हो तो इन संख्याओं को भी मायांक कहते हैं। जिस प्रकार उत्कृष्ट गैसों में इलेक्ट्रान कोशों में भर

जाने के कारण, यह गैस निष्क्रिय होती है और केवल विशेष परिस्थितियों में ही अभिक्रिया करती है, उसी प्रकार मायांक, न्यूट्रान या प्रोटान, नाभिकीय कोशों को भर देते हैं और वह नाभिक स्थिर होते हैं। उदाहरण के लिए $^{208}_{82}Pb$ लीजिए। इसमें न्यूट्रान और प्रोटान दोनों ही मायांक हैं, इसलिए इसे द्विमायिक (Doubly Magic) तत्व कहते हैं। यह बहुत ही स्थिर नाभिक है।

इसी तथ्य के आधार पर तत्व $^{298}_{114}$ लेड की तरह होना चाहिए और इसमें न्यूट्रानों की संख्या 184 होनी चाहिए। इसलिए यदि प्रोटानों की संख्या 114 के आस-पास चुन ली जाये तो इस प्रकार के नाभिक भी बहुत कम रेडियोऐक्टिव होंगे और इनकी अर्द्ध. आयु दस करोड़ वर्ष होगी। इनकी तुलना $^{238}_{92}U$ से की जा सकती है। जिसकी अर्द्ध आयु सत्तर करोड़ वर्ष है। इस प्रकार एक सौ दसवां तत्व प्लैटिनम की तरह होगा। इस बात की संभावना है कि कभी प्लेटिनम के अयस्कों में से इस तत्व को पृथक किया जायेगा। ऐसा अनुमान है कि लगभग प्लेटिनम के 10^{13} परमाणुओं में से इस तत्व का केवल एक परमाणु उपलब्ध होगा। इस प्रकार की जानकारी प्राप्त करने के लिए एक्सरे प्रतिदीप्ति मापन, द्रव्यमान, स्पैक्ट्रामिति, संक्रियण विश्लेषण विधियों द्वारा इस तत्व का पता लगाया गया। परन्तु सफलता हाथ न लगी। ऐसी धारणा है कि सौर मंडल के निर्माण के समय इस प्रकार के दीर्घजीवी तत्व बने परन्तु भू रासायनिक विकास (Geochemical Evolution) के साथ साथ या तो नष्ट हो गए या इतनी कम मात्रा में उपलब्ध है कि उनका पता नहीं चल पा रहा है। इस आधार पर कुछ धातुओं के अयस्कों में कुछ तत्वों का पता लगाने का प्रयत्न किया गया, परन्तु ये प्रयत्न भी असफल रहे। उदाहरण के लिए सोने के अयस्कों में तत्व 111, पारे के अयस्कों में तत्व 112 और थेलियम के अयस्कों में तत्व 113 की

खोज की गई। हो सकता है कि इनमें से कुछ तत्व ब्रह्मांड किरणों में मिल जाएँ।

यह बतलाया जा चुका है कि लारेंसियम के आगे बनाए गए कुछ तत्व बनने के साथ साथ स्वत: विखंडित हो जाते हैं। अतएव प्रत्यक्ष रूप से उनके अस्तित्व की पुष्टि करना असम्भव है। उनके उत्पादों तथा ऐल्फा कणों द्वारा ही उनका पता लगाया जा सकता है। इन तत्वों के सजातीय तत्वों को बनाने के लिए ऊर्जावान भारी आयनों को किसी टार्गेट पर प्रक्षेपित करना होगा। इसमें अनेक कठिनाइयां हैं। पहली कठिनाई यह है कि इस प्रकार निर्मित नाभिकों में न्यूट्रानों की संख्या कम होगी। इसलिए यह तत्व अस्थिर होंगे। दूसरी कठिनाई यह है कि अभी तक ऐसे एक्सीलरेटर या साइक्लोट्रॉन नहीं बन सके हैं जो अपेक्षित ऊर्जावान आयन बना सकें। प्रक्षेपण के लिए चुने गए कुछ आयन जैसे $^{48}_{20}Ca$, $^{40}_{18}Ar$, ^{64}Ni, ^{50}Ti, अथवा अन्य भारी आयन, अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में पाए जाते हैं। अतएव इन्हें प्राप्त करने के लिए मासस्पेक्टोमीटर का उपयोग करना पड़ेगा जिससे इनकी संख्या बढ़ाई जा सके। इसके अतिरिक्त इन तत्वों का आयनीकरण और वाष्पीकरण भी बड़ा ही कठिन है। इसलिए नवीन तत्वों के बनाने के लिए इन कठिनाइयों को दूर करना पड़ेगा।

□□

8

कृत्रिम तत्वों का उपयोग

प्रारम्भ में जब ये तत्व बनाए जा रहे थे, तब इन पर किए गए प्रयोगों का उद्देश्य यह था कि इनके नाभिकीय गुणों के अध्ययन द्वारा प्राप्त आंकड़ों के आधार पर परमाणुओं के सम्बन्ध में अधिक नवीन जानकारी मिल सकेगी। द्वितीय विश्व युद्ध काल में यूरेनियम 235 को यूरेनियम 238 से पृथक करने पर यह ज्ञात हुआ कि इसके नाभिकीय विखंडन से ऊर्जा का विशाल भंडार उपलब्ध हो सकता है। अतएव टी०एन०टी० तथा अन्य उपलब्ध विस्फोटकों से भी अधिक शक्तिशाली विस्फोटक बनाने के उद्देश्य से प्लूटोनियम बनाया गया, जिसकी विखंडन क्षमता यूरेनियम से बहुत अधिक है। प्लूटोनियम धातु का महत्व केवल सामरिक दृष्टि से ही नहीं है बल्कि शांतिकाल में तो यह और भी अधिक उपयोगी है। यह रिऐक्टर के ईंधन का कार्य करता है और इतने अधिक न्यूट्रॉन उत्पन्न कर सकता है कि इनसे अनेक रेडियोऐक्टिव समस्थानिक बनाए जा सकते हैं। इन समस्थानिकों का उपयोग ऐसे औद्योगिक तथा सामान्य अनुसंधानों में हो सकता है जो औषधि, कृषि, उद्योग तथा विज्ञान इत्यादि के क्षेत्र में लाभदायक सिद्ध हो सकें। पावर रिऐक्टरों में नेप्टूनियम -237 बनता है

और न्यूट्रॉन परिग्रहण द्वारा प्लूटोनियम - 238 में परिवर्तित हो जाता है। इस समस्थानिक का उपयोग ताप ऊर्जा उत्पन्न करने में होता है, जिससे विद्युत पैदा की जाती है। इस विद्युत द्वारा चालित यंत्रों का उपयोग अंतरिक्ष शोध में होता है। इसी प्रकार क्यूरियम -244 का उपयोग अंतरिक्ष अभियानों में हो सकता है। सन् 1967 में जब अंतरिक्ष यान सर्वेयर पांच (Surveyor V) चन्द्रमा के तल पर उतरा, तब चन्द्रमा के धरातल का अध्ययन ऐल्फा प्रकीर्णन (α-Scattering) द्वारा किया गया था। आइस्टीनियम 254 द्वारा निकले हुए ऐल्फा कणों द्वारा यंत्र को मानकित (Standardise) किया गया था और प्रकीर्ण के लिए क्यूरियम - 242 के एल्फा कण प्रयोग में लाए गए थे।

नाभिकीय रिऐक्टरों में प्लूटोनियम - 241 बनता है। इसमें से बीटा कण निकलते हैं और यह ऐमेरिशियम - 241 में परिवर्तित हो जाता है। इस तत्व से निकली हुई गामा किरणों का उपयोग द्रव पदार्थों का घनत्व ज्ञात करने तथा दूरी नापने वाले यंत्रों में होता है। कैलिफोर्निमय - 252 सघन न्यूट्रान निकालता है अतएव इस तत्व का उपयोग न्यूट्रान सक्रियण विश्लेषण (Neutron Activation Analysis) न्यूट्रान रेडियोग्राफी (Neutron Radiography) तथा कैंसर के उपचार में किया जा सकता है।

जब कोई विखंडनीय तत्व द्रुत न्यूट्रॉनों से अभिक्रिया करता है तब इसके नाभिक दो भागों में बंट जाते हैं और इसमें से अनेक न्यूट्रॉन निकलते हैं। इस प्रकार निकले हुए न्यूट्रॉन नाभिकों से अभिक्रिया करके तत्व के अन्य नाभिकों को विखंडित कर देते हैं और अधिक न्यूट्रॉन उत्पन्न कर देते हैं। इस प्रकार न्यूट्रॉनों की संख्या क्रमशः बढ़ती जाती है और नाभिकीय विखंडन की गति भी तीव्र होती जाती है। इसे श्रृंखला अभिक्रिया (Chain Reaction) कहते हैं। मन्द और उष्मीय न्यूट्रॉनों का उपयोग ऊर्जा

उत्पन्न करने वाले रिऐक्टरों में होता है। इन रिऐक्टरों में विखंडनीय पदार्थ इस प्रकार रखे जाते हैं कि विस्फोट की सम्भावना नहीं होती। यूरेनियम -233, -235 और प्लूटोनियम -239 का विखंडन किसी भी ऊर्जा वाले न्यूट्रॉनों द्वारा हो सकता है। अतएव इन नाभिकों के विखंडित होने पर जो ऊर्जा उत्पन्न होती है उसे उपयोग में लाया जा सकता है।

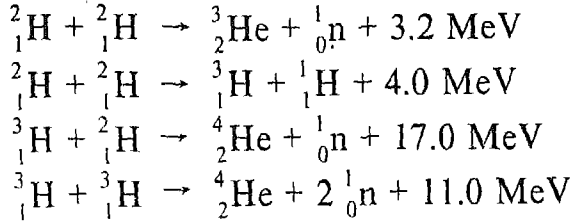
परमाणु आयुध :

विखंडन में भाग लेने वाले या विखंडन अभिक्रिया से बनने वाले न्यूट्रानों में से बहुत से न्यूट्रान बाहर निकल आते हैं। न्यूट्रानों के बाहर निकलने की गति पदार्थ के धरातल के क्षेत्रफल पर निर्भर होती है। विखंडन अभिक्रिया सारे पदार्थ में होती रहती है, इसलिए न्यूट्रानों के बढ़ने की गति, विखंडित होने वाली धातु के द्रव्यमान पर निर्भर होती है। विखंडनीय पदार्थ की मात्रा कम होने पर धरातल के क्षेत्रफल और आयतन का अनुपात भी कम हो जाता है। ऐसी परिस्थिति में धरातल से निकल कर बाहर जाने वाले न्यूट्रानों की संख्या बहुत बढ़ जाती है। अतएव नाभिकीय श्रृंखला अभिक्रिया को जारी रखना सम्भव नहीं है। विखंडनीय पदार्थ का आकार बढ़ा देने पर, बाहर निकलने वाले न्यूट्रानों की संख्या कम हो जाती है। विखंडनीय धातु का आकार धीरे-धीरे बढ़ाने पर एक ऐसी मात्रा मिलती है, जिसमें श्रृंखला अभिक्रिया अपने आप चालू हो जाती है। विखंडनीय पदार्थ के इस द्रव्यमान को 'क्रान्तिक द्रव्यमान' (Critical Mass) कहते है। किसी विखंडनीय तत्व का क्रान्तिक, द्रव्यमान, पदार्थ की शुद्धता और उसके पिंड की रचना और आकार पर निर्भर होता है। पदार्थ में अशुद्धियाँ मिली होने पर, न्यूट्रान, बिना विखंडन क्रिया के ही नष्ट हो जाते हैं। इस प्रकार होने वाली न्यूट्रानों की हानि को कम करने के लिए विखंडनीय पदार्थ को, किसी न्यूट्रान परावर्तक से घेर देते हैं। ऐसा करने से क्रान्तिक द्रव्यमान बढ़ जाता है। जब विखंडनीय पदार्थ की मात्रा, क्रान्तिक द्रव्यमान से अधिक हो जाती है, तब

यह वायुमंडल में पाए जाने वाले न्यट्रानों से अभिक्रिया करने लगता है। इसका परिणाम यह होता है कि या तो धातुएं पिघलने लगती हैं, या विस्फोट हो जाता है। इसलिए किसी नाभिकीय बम के विस्फोट करने से पहले ही, विखंडनीय धातु को कई भागों में बांट दिया जाता है और विभाजन करते समय इस बात का ध्यान रखा जाता है कि इनमें से प्रत्येक टुकड़ा मात्रा में क्रान्तिक द्रव्यमान से कम हो। विस्फोट करते समय इस बात का ध्यान रखा जाता है कि पदार्थ पिघलने न पावे। पदार्थ का पिघलना रोक कर विस्फोट को सफल बनाने के लिए विखंडनीय पदार्थ के टुकड़ों को अतिक्रान्तिक बनाना पड़ता है। यह भी आवश्यक है कि अतिक्रान्तिक बनते समय, अत्यन्त थोड़े समय में धातु के सभी टुकड़े आपस में जुड़ जाएँ और धातु के इस पिंड की मात्रा, क्रान्तिक द्रव्यमान से अधिक हो जाए। इन टुकड़ों को एक पिंड में बदलते समय न्यूट्रानों की उपस्थिति अनिवार्य होती है। विखंडनीय धातुओं के अवक्रान्तिक द्रव्यमान वाले टुकड़ों को एक शक्तिशाली विस्फोटक पदार्थ की सहायता से जोड़ कर एक कर दिया जाता है। धातुओं के अवक्रान्तिक टुकड़ों को जोड़कर एक कर देने के लिए इन टुकड़ों को इतनी शक्ति से दबाया जाता है कि धातु का द्रव्यमान क्रान्तिक या अतिक्रान्तिक हो जाये। द्रव्यमान की मात्रा में बिना किसी प्रकार के अन्तर के ही घनत्व बढ़ जाता है, क्योंकि बहुत से टुकड़ों का एक पिंड बन जाने पर धरातल का क्षेत्रफल घट जाता है। इस प्रकार पिंड बनाने के लिए विखंडनीय धातुओं के अवक्रान्तिक द्रव्यमान वाले टुकड़ों को किसी शक्तिशाली रासायनिक विस्फोटक से चारों ओर घेर देते हैं। इसके बाद विस्फोटक को किसी बाह्य्य प्रस्फोटक से विस्फोट कर देते हैं। विस्फोट करने पर भीतर की ओर जाने वाली एक दबाव की तरंग पैदा होती है। जब यह लहर विखंडनीय पदार्थ के अवक्रान्तिक द्रव्यमान के पास पहुंच जाती है, तब धातु के टुकड़े न्यूट्रानों को लिए हुए आपस में जुड़ कर एक हो जाते हैं। इस प्रकार धातु का

द्रव्यमान अतिक्रान्तिक हो जाने पर विस्फोट हो जाता है।

ताप नाभिकीय विस्फोट :
यूरेनियम या प्लूटोनियम के विस्फोट से निकली हुई ऊर्जा का उपयोग ड्यूटीरियम या ट्रीटियम की संलग्न क्रिया में होता है। एक करोड़ से दस करोड़ सेन्टीग्रेड ताप पर निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रियाएं होती है :

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n + 3.2\ MeV$$
$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}H + 4.0\ MeV$$
$$^{3}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17.0\ MeV$$
$$^{3}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + 2\ ^{1}_{0}n + 11.0\ MeV$$

यह उच्च ताप विखंडनीय पदार्थ द्वारा उत्पन्न किया जाता है। हाइड्रोजन और लिथियम को इस ताप पर गरम करने से लिथियम न्यूट्रान परिग्रहण कर लेता है और ट्रीटीयम बन जाता है।
इस सिद्धान्त पर आधारित आयुधों को **तापनाभिकीय या हाइड्रोजन बम कहते** हैं।

विखंडन विस्फोट द्वारा और भी अधिक ऊर्जा उत्पन्न करने के लिए संगलन अभिक्रिया द्वारा निकलें हुए अत्याधिक ऊर्जावान न्यूट्रानों का उपयोग किया जाता है। इन न्यूट्रानों द्वारा यूरेनियम - 238 के नाभिकों का न्यूट्रान प्रेरित विखंडन किया जाता है। इस सिद्धान्त के आधार पर विखंडन-संगलन (Fission-fusion) और विखंडन संगलन विखंडन आयुध बनाए जाते हैं। इन परमाणु अस्त्रों से निकली हुई ऊर्जा की मात्रा, साधारण परमाणु बमों की ऊर्जा से बहुत ही अधिक होती है। विखंडन हो जाने पर अनेक विखंडन उत्पाद बिखर कर इधर-उधर फैल जाते हैं।

विस्फोट से निकले हुए न्यूट्रान, हवा में उपस्थित नाइट्रोजन परमाणुओं के साथ अभिक्रिया करके कार्बन - 14 बना देते हैं जो एक रेडियोऐक्टिव पदार्थ है। इसके अतिरिक्त यह न्यूट्रान विस्फोट करने वाली युक्ति तथा भूमि में भी रेडियोऐक्टिवता उत्पन्न कर देते हैं। साधारणतया लोगों की ऐसी धारणा है कि परमाणु विस्फोटों का उपयोग शक्तिशाली अस्त्रों के बनाने में ही होता है परन्तु यह धारणा बहुत ही भ्रामक है।

शांतिकालीन उपयोग :

परमाणु ऊर्जा का उपयोग उत्खनन सम्बन्धी बड़ी-बड़ी योजनाओं को थोड़े समय में पूरा करने में किया गया है। परमाणु ऊर्जा का उपयोग उच्च ताप और भारी दबाव पैदा करने, खानें खोदने, समस्थानिकों के बनाने तथा शिलाओं से तेल निकालने के लिए किया गया है। श्रृंखला अभिक्रिया के उपयोग से दीर्घकाल तक स्वत: चलने वाली परमाणु भट्ठियों में विखंडनीय धातुओं का उपयोग होता है। प्रचलित उपायों से परमाणु ऊर्जा को उष्मा के रूप में बदलकर बिजली पैदा की जाती है। इस सिद्धांत के आधार पर **पावर रिऐक्टर** बनाए गये हैं। इनसे शक्ति के निम्नतर स्तर से लेकर हजारों मेगावाटों तक की ऊर्जा प्राप्त की जा सकती है। इन रिऐक्टरों में किसी विखंडनीय धातु को रखकर, उष्मीय (मंद) मध्यवर्ती ऊर्जा वाले या तीव्र न्यूट्रानों से विखंडन क्रिया कराई जाती है। इन रिऐक्टरों में होने वाली श्रृंखला-अभिक्रिया को नियंत्रित करना बहुत आवश्यक है। इसलिए कुछ न्यूट्रान पदार्थों द्वारा अवशोषित किए जाते हैं। न्यूट्रान नियंत्रित करने वाले पदार्थ छड़ों के आकार के बनाए जाते हैं। प्लुटोनियम - 239, क्रमश: दो न्यूट्रान ग्रहण करके प्लुटोनियम - 241 में बदल जाता है। शक्ति उत्पन्न करने वाले रिऐक्टरों में प्लुटोनियम - 239 तथा प्लुटोनियम - 241 का

उपयोग होता है। ये दोनों ही समस्थानिक उष्मीय न्यूट्रानों द्वारा विखंडित हो जाते हैं। प्लुटोनियम से ऐल्फा **विकीरण** निकलता रहता है। इस लिए तीव्र **विकीरण** को कम करने के लिए प्लूटोनियम में प्राकृतिक यूरेनियम या संवर्द्धित यूरेनियम मिलाया जाता है। इन रिऐक्टरों में प्लूटोनियम भी पैदा होता है। शक्ति उत्पन्न करने के लिए एक अन्य रिऐक्टर का उपयोग होता है। इसमें यूरेनियम - 238 को यूरेनिमय - 239 में अथवा थोरियम - 232 को यूरेनियम - 233 में बदल देते हैं। इसे **ब्रीडर या प्रजनन रिऐक्टर** कहते हैं। रिऐक्टरों में अनेक ऐसे पदार्थ पाए जाते हैं जिनमें न्यूट्रान ग्रहण करने की क्षमता होती है। न्यूट्रान ग्रहण कर लेने पर भी समस्त विखंडनीय समस्थानिकों में विखंडन अभिक्रिया नहीं हो पाती। इनमें से कुछ नाभिक, अधिक ऊर्जावान न्यूट्रानों को अवशोषित कर लेते हैं और भारी समस्थानिकों में बदल जाते हैं। द्रुत रिऐक्टर यूरेनियम - 238 प्लूटोनियम - 239 के प्रजनन चक्र के सिद्धान्त पर बनाए जाते हैं। इनमें उष्मीय अथवा कम ऊर्जावान न्यूट्रानों का उपयोग होता है। नाभिकीय अभिक्रिया को अधिक सफल बनाने के लिए हल्के नाभिकों के साथ न्यूट्रानों की टक्कर कराई जाती है। इस प्रकार न्यूट्रानों की गति मंद पड़ जाती है। इस कार्य के लिए ऐसे नाभिक लिए जाते हैं, जिनमें न्यूट्रान ग्रहण करने की क्षमता कम होती है। इन पदार्थों को न्यूट्रान मन्दक या न्यूट्रान माडरेटर कहते हैं। साधारण पानी, भारी पानी, ग्रेफाइट, बेरिलियम तथा ऐसे कार्बनिक पदार्थ, जिनमें हाइड्रोजन की मात्रा अधिक होती है, अच्छे न्यूट्रान मन्दक का कार्य करते हैं। रिऐक्टरों के ताप को ग्रहण करके उन्हें ठंडा करने के लिए साधारण पानी, भारी पानी, हीलियम गैस, कार्बन डाई आक्साइड गैस,नाइट्रोजन गैस, साधारण वायु, विकीरण से प्रभावित न होने वाले आर्गेनिक पदार्थ, हाइड्रोकार्बन, पिघली हुई लिथियम, सोडियम, पौटेशियम धातुएं इस्तेमाल की जाती हैं।

अन्य उपयोग :

परमाणु शक्ति का उपयोग पनडुब्बियों, युद्ध पोतों तथा पानी में चलने वाले जहाजों के इंजनों में होता है। इस प्रकार के वाहक उपकरणों में एक बार ईंधन भर देने पर बिना ईंधन लिए ही जहाज अनेकों मील की यात्रा कर सकेंगे। परमाणु शक्ति के उपयोग से उनकी गति भी बढ़ जायेगी। आशा की जाती है कि अंतरिक्ष यानों में परमाणु ऊर्जा का उपयोग अधिक लाभप्रद सिद्ध होगा।

कृत्रिम तत्वों में केवल प्लूटोनियम - 239 ही उपयोगी नहीं है। प्लूटोनियम - 238, क्यूरियम - 242 तथा क्यूरियम - 244 का उपयोग उष्मा तथा शक्ति उत्पादन में हो सकता है। इन समस्थानिकों में से लगातार ऐल्फा कण निकलते रहते हैं। इनको रोक कर इनकी ऊर्जा को ताप में बदल दिया जाता है। इस ताप का उपयोग विद्युत उत्पादन में हो सकता है। इसी प्रकार कैलीफोर्नियम - 252 अथवा - 254 का उपयोग विद्युत उत्पादन में हो सकता है। इसी प्रकार कैलीफोर्नियम - 252 अथवा - 254 का उपयोग न्यूट्रान उद्गमों के लिए हो सकता है। इस धातु की विशेषता यह है कि यह स्वतःविखंडित होकर अनेक न्यूट्रान निकालती रहती है। यह आशा की जाती है कि न्यूट्रानों का यह विशाल भंडार, प्रचलित रेडियोऐक्टिव बेरिलियम या प्लूटोनियम बेरेलियम न्यूट्रान उद्गमों का स्थान ग्रहण कर लेगा।